

고출력 MH 램프의 등가 모델링

박종연*, 김기남*, 태도영**

강원대학교 IT 특성화 학부(대학) 전기전자 공학과*, 한국전기안전공사**

Equivalence Modeling of High Power MH Lamp

Jong-Yeon Park*, Ki-Nam Kim*, Do-Young Tae**

Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Kangwon National University*, Korea Electrical Safety Corporation**

Abstract - 본 논문에서는 램프의 저주파 구동 시 램프를 해석하여, 수식적 등가 모델링하였다. 안정기 설계 시 대부분 램프를 순수 저항으로 등가 하여 설계하는 오류를 범하고 있다. 그로 인해 이론과 실험결과의 오차가 발생하여 안정기 설계 시 많은 어려움을 겪고 있다. 이 문제점을 해결하고자 램프의 정상상태를 세 가지 가정을 통해 이론적으로 쉽게 접근 하였으며, 실험을 통해 그 성능을 입증 하였다.

1. 서 론

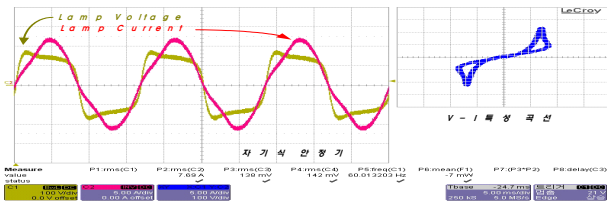
HID 램프 중 MH(Metal Halide) 램프는 수은, 아르곤 가스 외에 스칸듐(Sc), 토륨(Th), 나트륨(Na) 등의 알칼리 금속 원소를 할로겐 원소와 화합시킨 금속 할로겐이 봉입되어 있어 광 효율 상승과 높은 연색성, 다양한 색온도, 긴 수명 등의 장점을 가지고 있다.[1] 이와 같은 장점으로 인해 가로등 및 옥외 조명 등에서 주로 사용되어져 왔으나 최근에는 운동장, 대형 배장의 전시용 조명등으로 사용 범위가 확대되고 있다.[2] MH 램프를 점등시키기 위해서는 방전관의 절연 파괴를 위한 고전압 발생과 점등 시 부성 저항 특성에 의한 과전류 제한을 위해 안정기가 필요하다.[3]

MH 램프를 위한 안정기에는 전자식 안정기와 자기식 안정기로 나뉜다.[4] 전자식 안정기는 부피 및 무게의 경량화가 가능하고 광 효율을 20~30% 향상시킬 수 있는 장점이 있지만, 반도체 소자의 사용으로 인해 신뢰성이 떨어지고, 단가를 상승하는 단점을 갖고 있다. 반면 자기식 안정기는 인덕터와 커패시터를 사용한 수동 소자 회로로써 낮은 단가와 뛰어난 신뢰성이 장점이다. 그러나 낮은 효율과 부피가 크고, 중량이 무거워 설치에 많은 제약 조건을 갖고 있다.

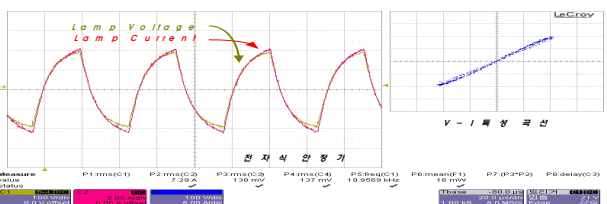
점등 시 램프로 유입되는 전류는 전자식, 자기식 모두 인덕터에 의해 제한된다. 이 때 램프와 인덕터와의 임피던스 매칭이 제대로 이루어졌을 경우에 램프는 정상적인 동작을 할 수 있다. 만약 인덕턴스가 너무 작다면, 램프는 과 출력을 하여, 수명을 단축시킨다. 반대로 너무 크다면, 초기 점등이 이루어 지지 않는다.[2] 따라서 인덕터의 설계는 안정기 설계에 있어서 가장 중요한 부분이 된다. 인덕터 설계를 위해 MH 램프의 모델링을 통한 램프의 동작을 묘사할 필요가 있다.

본 논문에서는 저주파 구동 시 램프를 해석하였으며, 램프를 수식적으로 등가 모델링 하였다.

2. 본 론



<그림 1> 자기식 안정기 관 전압(황), 관 전류(적)



<그림 2> 전자식 안정기 관 전압(황), 관 전류(적)

그림 1과 그림 2는 각각 자기식 안정기와 전자식 안정기의 관 전압, 관 전류 파형을 나타내었다. 파형에서 볼 수 있듯이 전자식 안정기의 경우 고주파로 램프를 구동하기 때문에 관 전압 및 관 전류가 정현파에 가깝다. 따라서 램프의 등가 하였을 때 그 오차 범위는 매우 작다. 그러나 자기식 안정기의 경우 저주파로 램프를 구동하기 때문에 관 전류는 정현파의 형태인 반면 관 전압은 비 정현파의 형태를 나타낸다. 따라서 램프를 순수 저항으로 등가 할 수 없다.

2.1 MH 램프의 모델링

본 논문에서는 MH 램프를 용량성 부하로 모델링을 하였다. 표 1에는 OSRAM社로부터 제공된 램프의 실험 데이터를 나타내었다.

<표 1> MH 램프의 데이터

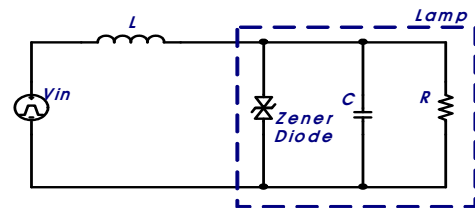
Power of lamp	V_{IN}	I_{Lamp}	V_{Lamp}	$PF(\cos\phi)$
930W(1000W)	220(V)	8.3(A)	130(V)	0.86

표 1에서 V_{IN} 은 안정기의 입력 전압, I_{Lamp} 는 관 전류, V_{Lamp} 는 관 전압을 나타내며, PF 는 램프의 역률을 나타낸다.

MH 램프의 일정한 동작을 모델링하기 위해 다음의 가정을 하였다.

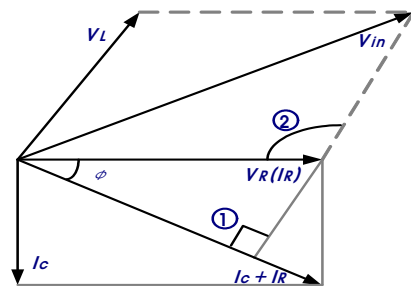
- ① 관 전압은 주기적인 신호이므로, 푸리에 급수로 접근하여 1고조파(기본파)만 고려한다.
- ② 인덕터와 AC전원은 이상적이다.
- ③ 표 1에서 $\cos\phi=0.86$ 이므로 $\phi=(\pi/6)$ 이 된다. 이 값은 회로를 계산하기 위해 램프의 위상으로 사용한다.

모델링한 MH 램프는 캐패시터와 저항, 양방향 제너 다이오드로 구성된다. 문턱 전압은 관 전압의 형태와 동일하게 하기 위해 같게 한다. 그림 3에 이론적 모델을 나타내었다.[2]



<그림 3> 이론적 모델

그림 3의 이론적 모델에 대한 벡터도를 그림 4에 나타내었다.



<그림 4> 이론적 모델의 벡터도

그림 4를 통해 인덕터의 설계 값을 계산 할 수 있다. 먼저 $\phi = \pi/6$ 이므로 ①= $\pi/2$ 가 되고, ②= $2\pi/3$ 가 된다. 따라서 $\cos(2\pi/3) = -1/2$ 이므로 다음의 식을 얻을 수 있게 된다.

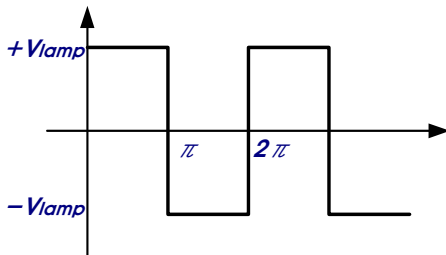
$$V_R^2 + V_L^2 + (V_R \times V_L) = V_{in}^2 \dots \dots \dots (1)$$

여기서 V_L 은 인덕터 양단 전압, V_R 은 램프의 기본파 전압, V_{in} 은 입력 전압을 나타낸다.

식 (1)을 통해 V_L 의 값을 얻을 수 있으므로 인덕터의 값을 구할 수 있다.

$$L = \frac{V_L}{I \times 2\pi f} \dots \dots \dots (2)$$

식 (2)에서 f 는 전원 주파수, I 는 입력 전류이다. 그림 1에서 관 전압을 살펴보면 구형파의 형태를 하고 있기 때문에 구형파로 가정된 후 V_R 을 구할 수 있다.



<그림 5> 램프 양단 등가 전압

푸리에 급수를 이용하여 구형파를 표현하면 식 (3)과 같다.

$$V_R(t) = \frac{4V_{lamp}}{\pi} (s \sin wt + \frac{1}{3} \sin 3wt + \frac{1}{5} \sin 5wt + \dots) \dots (3)$$

식 (3)에서 $w = 2\pi f$, f 는 전원 주파수이다. 또한 함수 고조파의 크기는 기본파를 1로 하여 수식을 간결하게 표현하였다. 여기서 앞서 가정하였던 것과 같이 기본파의 성분만 고려하게 되면 식 (4)와 같이 된다.

$$V_R(t) \approx \frac{4V_{lamp} \sin wt}{\pi} \dots \dots \dots (4)$$

식 (4)는 관 전압을 계산하는데 응용할 수 있으며, 식 (1)에 의해 인덕터에 걸리는 전압을 계산할 수 있다.

2.2 모델링을 이용한 인덕터 전류 계산

자기식 안정기의 인덕터 값은 LCR Meter로 측정하였을 때 41.8mH로 측정 되었다. 이 측정값과 표 1을 바탕으로 하여 모델링한 수식을 이용하여 전류의 값을 계산 하였다.

먼저 식 (3)에서 관 전압의 최대치는 130V이므로 이를 대입하여 얻은 V_R 의 값은 다음과 같다.

$$V_R(t) = \frac{4 \times 130 \times \sin wt}{\pi} = 165.5 \sin(2\pi ft)$$

앞서 구한 V_R 의 값을 식 (1)에 V_{IN} 과 V_R 값을 대입하여 V_L 을 구한다. 이 때, V_{IN} 의 값은 220Vrms이다.

$$165.5^2 + V_L^2 + (165.5 \times V_L) = 220^2$$

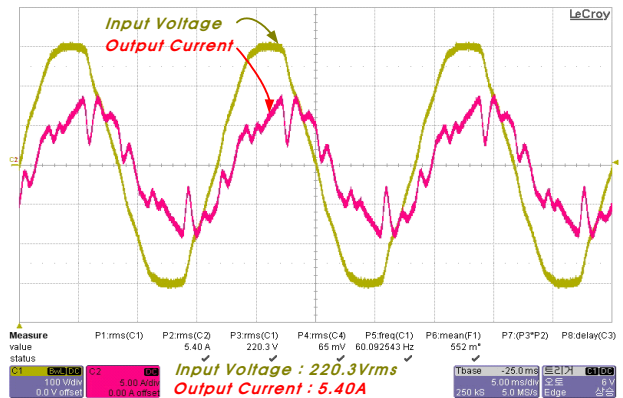
식 (1)에 의해 얻어진 V_L 의 값은 84.16Vrms로 식 (2)를 응용하여 인덕터에 흐르는 전류를 계산하면 다음과 같다.

$$I_L = V_L / 2\pi f L = 84.16 / (2\pi \times 60 \times 41.8 \times 10^{-3}) = 5.34(A)$$

2.3 실험 결과

실험에는 1kW MH 램프용 자기식 안정기를 사용하였다. 계측에 사용

된 오실로스코프는 Lecroy社의 LC574A를 사용하였다. 안정기를 구동시키기 위해 입력은 220.3Vrms를 사용하였다. 이 때, 입력 전류는 그림 6에서 확인 할 수 있듯이 5.40A이다.



<그림 6> 자기식 안정기의 입력 전압/전류

앞서 모델링 수식에 의한 인덕터 전류 값과 비교하였을 때, 오차 범위를 구하면 다음과 같다.

$$\left(\frac{5.4}{5.34} - 1 \right) \times 100\% = 1.12\%$$

이 값을 통해 모델링 수식에 의해 계산한 값과 실험값이 매우 일치함을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 램프의 저주파 구동 시 램프를 해석하여, 수식적 등가 모델링하였다. 자기식 안정기 설계 시 램프를 순수 저항으로 등가를 하였을 때 이론과 실제가 일치하지 않는 문제점이 발생된다. 이러한 문제점을 해결하고자 세 가지의 가설을 통해 이론적 접근을 보다 간결하게 하여 응용이 가능하도록 모델링 방법을 제시 하였다. 실험결과 이론적으로 접근한 결과와 동일함을 확인하였다. 따라서 이 모델링은 자기식 안정기 설계 및 분석에 있어서 큰 도움이 될 것으로 사료된다. 그러나 전자식 안정기 구동 시 램프의 등가 모델링이 이루어 지지 않았으므로 향후 이를 위한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

- 감사의 글 -

본 연구는 지식경제 기술혁신사업의 도움으로 수행할 수 있었음을 감사히 생각합니다.

[참 고 문 헌]

[1] 박종연, 이봉진, 김기남 “음향 공명 현상을 제거한 MHL용 고휘력 전자식 안정기 설계”, 대한전기학회, Vol.57, pp1187~1194, 2008.
 [2] Weiping Zhang, Yuanchao Liu, Xiaoqiang Zhang, Hongtao Li and Wenji Liu “Low Frequency Model for the Metal Halide Lamp”, IP EMC 2006 , Vol.2, pp.14~16, 2006.
 [3] 박종연, 이봉진, “주파수 변조 기법을 이용하여 음향 공명 현상을 제거한 1[kW] 메탈 할라이드 램프용 전자식 안정기 개발”, 한국 조명·전기설비학회, Vol.22, No.2, pp.10~18, 2008.
 [4] E.Rash and E. Statnic, “Behavior of Metal Halide lamps with conventional and Electronic Ballast”, J.of the IES, pp.88~96, Summer, 1991.
 [5] R.L. Steigerwald, “A Comparison of half-bridge Resonant Converter topologies”, IEEE Trans. On PE., Vol.3, No.2, pp174~182, 1988.
 [6] A. K. S. B hat. “Fixed-frequency PWM Series-Parallel Resonant Converter”, IEEE IAS Annual Meeting Conf. Proc., pp.1115~1121, 1989.