

HID 램프용 점화기의 모델링 기법

박종연, 임병노, 장목순
강원대학교 IT특성화대학 전기전자, 올라이트라이프(주)

The modeling method of ignitors for HID lamps

Chong-Yeun Park, Byoung-noh Lim, mok-soon Jang
Department of Electrical and Electronic Engineering, Kangwon Univ, Allitlife Co.,Ltd.

Abstract - 본 논문은 고압방전램프용 안정기의 점화기 4종류를 ESR(Equivalent Series Resistance)를 고려하여 등가모델링 하였다. 전자식 안정기의 구동식에 따른 풀 브리지 방식의 점화기 2종류와 하프 브리지 방식의 1종류 마지막으로 자기식 안정기의 점화기를 모델링하고 타당성을 증명하기 위해 실험을 통하여 입증하였다.

1. 서 론

현재 옥외용 조명은 연색성과 광 효율이 좋은 고압방전(HID: High Intensity Discharge)램프를 주로 사용되고 있다. 고압방전 램프는 부성 저항 특성을 갖고 있으며 이런 전기적 특성 때문에 반드시 안정기가 요구 되어진다.[1][2] 고압방전램프의 경우는 초기 점등을 위해서 높은 전압이 필요하며, 최소 1.2kV이상의 고압을 만들어 줘야한다. 그래서 고전압을 발생시키는 점등회로가 부가적으로 필요하게 된다.[2]

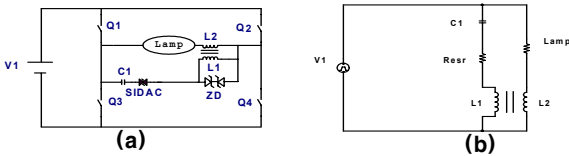
따라서 본 연구에서는 풀 브리지 인버터 방식의 점화기 두 종류와 하프 브리지 인버터 방식의 점화기와 고효율 HID 램프용 자기식 안정기의 점화기에서 대해서 ESR(Equivalent Series Resistance)을 고려하여 등가모델링하고 ESR에 의한 점등특성을 설명하였다. 실제 가로등과 같은 밀폐된 공간을 구성하여 점화기의 점등전압이 발생하는지를 실험을 통하여 확인하였다. 또한, 점등전압에 의한 문제점을 제시하였다.

2. 구동방식에 따른 점화기의 동작 원리

본 논문에서 총 4종류의 점화기에 대해서 고찰하였으며, 풀 브리지 인버터 방식의 점화기 2종류와 하프 브리지 인버터 방식의 점화기 그리고 자기식 안정기의 점화기의 동작원리를 설명하였다.

2.1 풀브릿지 인버터 방식의 점화기 A

그림 1(a)는 점화기 A의 구조이며, Sidac의 도통전압이 발생하게 되며 전류의 루프가 형성된다.



<그림 1> 점화기 A

Sidac의 도통 순간은 구형파의 형태이며, L1에 큰 전압이 걸리게 된다. L1의 전압은 트랜스포머에 의해서 L2에 전달되게 되며, 1.2kV이상의 점등전압을 발생하게 된다. 그리고 점등전압이 1.2kV이상 걸리지 않게 하기 위해서 L1에 병렬로 제너다이오드(ZD)를 사용하여 램프양단의 전압을 제어하였다.[3][4]

그림 1(b)는 점화기 A를 등가모델링 하였으며, V1의 입력전압을 구형파 입력전압으로 가정할 수 있다. C1과 L1의 직렬저항 성분인 ESR(Equivalent Series Resistance)을 고려하였으며, 램프의 점등 전에 저항은 무한대 저항으로 가정하였다.[5][6] 또한 회로해석을 하기 위해서 비선형 소자인 제너다이오드는 없다고 가정하였다. 그림 1(b)는 등가 회로에서 L1양단의 전압은 다음과 같다.

$$V_{L1} = \frac{s^2}{s^2 + \frac{R_{esr}}{L_1}s + \frac{1}{L_1C_1}} \frac{V_1}{s} \quad (1)$$

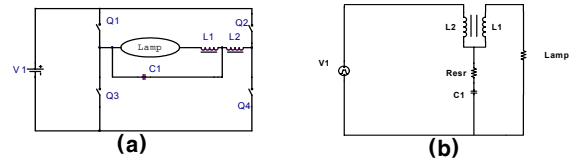
여기서 $Q = \frac{1}{R_{esr}} \sqrt{\frac{L_1}{C_1}}$ 이 된다.

L2 양단의 전압은 V_{L1} 의 전압에 트랜스포머의 턴-수비에 비례하게 전압이 형성하게 된다.

$$V_{Lamp} = V1 - nV_{L1} \quad (2)$$

2.2 풀브릿지 인버터 방식의 점화기 B

그림 2(a)회로는 풀 브리지 인버터 구조의 점화기 B이며, 동작 원리는 다음과 같이 설명할 수 있다. 풀 브리지 인버터 동작에 의해서 구형파를 만들게 된다.[6] 구형파의 변화순간을 Step Input의 형태이며, 램프의 점등 전 상태의 저항은 무한대로 가정할 수 있다. 회로에서 전류의 루프는 C1, L2의 경로를 따라 회로가 구성되게 된다. 구형파의 변화 순간에 C1, L2에 전압을 공급하게 되며, 이 순간에 C1, L2는 Damping 현상이 발생하게 되며, L2에 전압이 걸리게 된다. L2의 전압은 트랜스포머에 턴-수비에 의해서 L2에 전압이 걸리게 되며, 램프에 점등 전압을 형성하게 된다.



<그림 2> 점화기 B

그림 2(b)는 점화기 B를 등가한 회로이다. 등가회로의 해석에서 입력전압은 풀 브리지 인버터의 반주기 신호에 대해서만 해석을 할 것이다. 즉, V1의 입력전압은 구형파 입력전압으로 놓을 수 있다. C1과 L2의 직렬저항 성분인 ESR을 고려하였다. 램프의 점등 전에 저항은 무한대이며, 트랜스포머의 자화 인덕터 값이 L2 보이게 된다.[6][7] L2의 전압은 다음과 같다.

$$V_{L1} = \frac{s^2}{s^2 + \frac{R_{esr}}{L_1}s + \frac{1}{L_1C_1}} \frac{V_1}{s} \quad (3)$$

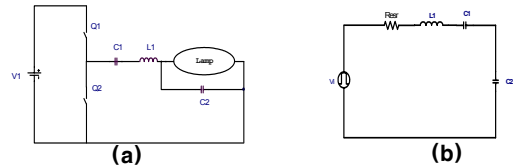
여기서 $Q = \frac{1}{R_{esr}} \sqrt{\frac{L_1}{C_1}}$ 이 된다.

식(3)에서의 램프의 전압을 구하면,

$$V_{Lamp} = (V_C + V_R) - nV_{L2} \quad (4)$$

2.3 하프 브릿지 인버터 방식의 점화기 C

그림 3(a)의 회로는 하프 브리지 인버터 구조의 점화기 C이며, 동작원리는 다음과 같다. 램프가 오픈 상태에는 C1, C2, L1의 회로가 형성되며, LCC 공진 탱크 구조를 갖게 된다. LCC 공진 탱크의 경우 점등 주파수에 의해서 큰 전압이 C2에 걸리게 되며, 램프의 점등전압을 형성하게 된다.



<그림 3> 점화기 C

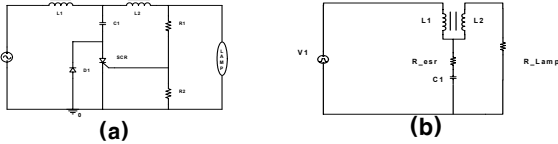
그림 3(b)는 점화기 C를 등가한 회로이다. 입력전압은 스위칭 주파수의 기본성분만을 고려하여 등가 하였다. 그리고 L1, C1, C2의 직렬저항 성분인 ESR을 고려하였다. 그림 3(b)의 전달함수를 구하면,

$$\frac{V_G}{V_i} = \frac{1}{s^2 + s \frac{R_{esr}}{L_1} + \frac{C_1 + C_2}{L_1C_1C_2}} \quad (5)$$

여기서 $Q = \frac{1}{R_{ESR}} \sqrt{\frac{(C_1 + C_2)L_1}{C_1C_2}}$ 이 된다.

2.4 자기식 안정기의 점화기 D

그림 4(a)는 자기식 안정기의 점화기 회로이다.[8] 램프가 오픈상태 시 R1과 R2에 전압에 의해서 SCR의 턴-온 전압이 형성되게 되며, SCR이 턴-온하면 L1과 C1에 전류 루프가 형성된다. SCR이 턴-온 되는 순간의 L1과 C1의 Damping 현상이 일어나게 된다. L1과 L2는 단권 변압기의 구조를 가지고 있으며, L1에 걸린 전압은 턴-수비에 의해서 L2에 고전압을 발생하게 된다.



<그림 4> 점화기 D

그림 4(b)는 점화기 D를 등가한 회로이다. 입력전압은 268V에서 SCR의 턴-온하게 되며, L1, C1의 구형과 입력전압으로 가정하였다. 그리고 L1, C1의 직렬저항 성분인 ESR을 고려하였다. 그림 4(b)에서 L1의 걸린 전압은 다음과 같다.

$$V_{L1} = \frac{s^2}{s^2 + \frac{R_{ESR}}{L_1}s + \frac{1}{L_1C_1}} \frac{V1}{s} \quad (6)$$

여기서 $Q = \frac{1}{R_{ESR}} \sqrt{\frac{L_1}{C_1}}$ 이 된다.

램프 양단의 전압은 트랜스포머의 턴-수비에 의해서 결정된다.

$$V_{Lamp} = (V_C + V_{R_{ESR}}) \cdot n \quad (7)$$

3. 실험 및 고찰

점화기 4종류에 대해서 실험하였으며, 고압방전램프의 점등전압인 1.2kV이상의 전압이 발생하는지 확인하였으며, ESR에 의한 전압의 감쇄현상을 확인하였다. 또한, 제작된 점화기를 가로 등주와 비슷한 조건에서 실험하였다.

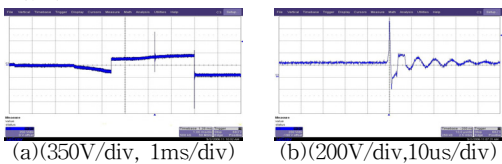
3.1 점화기 A

표 1은 점화기 A의 소자 값이며, 식(1)과 식(2)의 의해서 점등 전압을 구할 수 있다.

<표 1> 점화기 A의 소자 값

$R = 3\Omega$	$L_1 = 6\mu H$
$C = 153pF$	$n = 17$ (턴수비)

식(1)에 의해서 V_{L1} 의 최대값은 약 380V이며, 트랜스포머에 의해서 6.4kV까지 상승하게 된다. 그러나 제너다이오드(ZD)를 고려하면, V_{L1} 의 최대값은 94V로 제한되게 된다. 식(2)에 의해서 점등전압이 형성하는 것을 알 수 있다. 그림 5는 실제 제작된 점화기 A의 실험 결과는 그림 5(a)의 파형과 같으며, sidac의 턴-온 상태에서 점화전압이 발생하는 것을 알 수 있다.



<그림 5> 이그니션 파형 (b)확대파형

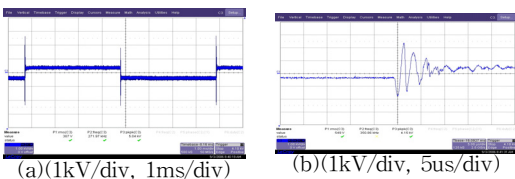
3.2 점화기 B

표 2는 점화기 B의 소자 값이며, 식(3)과 식(4)의 의해서 점등전압을 구할 수 있다.

<표 2> 점화기 B의 소자 값

$R = 3\Omega$	$L_1 = 3.8\mu H$
$C = 153pF$	$n = 12.7$ (턴수비)

그림 6은 위의 소자 값을 적용하여 제작한 점화기의 램프 전압 파형이다.



<그림 6> 이그니션 파형 (b)확대파형

풀 브리지 인버터의 전압이 변화는 순간마다 점등 전압이 발생하는 것을 알 수 있다. 실험에서 점등 전압은 4.15kV의 높은 전압이 발생하

는 것을 알 수 있다.

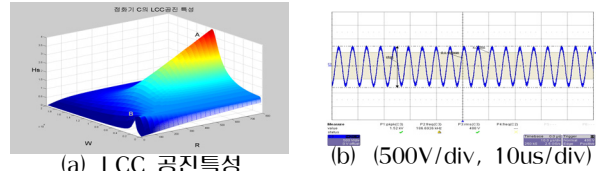
3.3 점화기 C

점화기 C의 LCC 공진 특성은 표 3의 소자 값과 식(5) 조건에 의해서 나타낼 수 있으며, 그림 7(a)과 같은 특성을 나타내며, A점은 점등전압의 형성과정이며, B점은 정상상태의 전달함수 특성을 나타낸다.

<표 3> 점화기 C의 소자 값

$C_1 = 0.22\mu F$	$C_2 = 0.0068\mu F$
$L_1 = 193\mu H$	

그림 7(b)의 램프가 점등 전 주파수는 전달함수의 특성이 1.2kV인 지점의 주파수인 190kHz 구동하게 된다.



(a) LCC 공진특성

<그림 7> 점화기 C

실제 실험에서는 그림 12에서처럼 187kHz지점에서 1.53kV인 점등 전압을 형성하는 것을 알 수 있다.

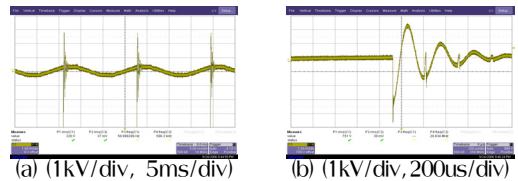
3.4 점화기 D

표 4는 점화기 D의 소자 값이며, 식(6)과 식(7)의 의해서 점등전압을 구할 수 있다.

<표 4> 점화기 D의 소자 값

$R_{ESR} = 3\Omega$	$L_1 = 5mH$
$C_1 = 0.22\mu F$	$n = 16$ (턴수비)

점화기 D의 실험 결과는 그림 13의 파형과 같으며, SCR이 턴-온되는 순간마다 점등 전압이 발생하는 것을 알 수 있다. 실험에서 점등 전압은 4.65kV의 높은 전압이 형성된 것을 알 수 있다.



<그림 8> 이그니션 파형, (b) 확대파형

3. 결 론

본 논문에서는 고압방전램프 안정기에 사용되는 4종류의 점화기 회로의 ESR을 고려한 모델링방법을 제안하였으며, 전자식 안정기의 풀 브리지 방식에 의한 점등회로를 2종류를 모델링하여 분석하였다. 또한, LCC공진 탱크를 이용한 하프 브리지 방식의 점등회로도 분석하였고, 현재 널리 사용되어지는 자기식 안정기의 점등회로도 분석하였다. 총 4종류 점화기의 모델링 방법이 타당함을 증명하기 위해서 실험을 통하여 이론값과 측정값의 일치함을 증명하였다. 본 논문의 모델링 방법은 HID램프용 안정기의 점화기의 설계시의 소자값의 결정에 있어서 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한수빈, "최근의 HID 안정기 기술 동향", 한국조명·전기설비학회, 조명·전기설비 제16권 제4호, 2002,8, pp. 32-38
- [2] 김기정, "HID 램프용 안정기의 회로 및 특성 이해", 전력기술인 2001, 9 Page(s):27-30
- [3] 박종연, 정동열, "HID 램프용 전자식 안정기의 점화기에 관한 연구" 강원대학교 산업기술연구소, 1998 Page(s):157-163, Vol. 18
- [4] Philips Semiconductors, "HID 70W application with UBA 2032", Fact Sheet.
- [5] Chenyang Liu, Changsheng Hu, Zhongchao Zhang, "Analysis and design of igniter for HID Ballast", Industry Applications Conference, 2005. Fourtieth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2005, Volume 3, 2-6 Oct. 2005 Page(s):1949-1953 Vol. 3
- [6] Yue-Quan Hu, Jun, Zhang, Wei Chen, Chau-Chun Wen, "Analysys and design of metal halide lamp igniter", Power Electronics Specialists Conference, 2001. PESC. 2001 IEEE 32nd Annual Volume 1, 17-21 June 2001 Page(s):132-137 vol.1