

HID 램프용 안정기의 점화기 특성분석 및 제어용 IC의 동작영향 분석

Ignitors analysis of characteristics in the ballast of the HID lamps and analysis of its effect on the control IC operations

박종연* 임병노**
Park, Chong-Yeun Lim, Byoung-Noh

Abstract

In this paper, four types of ignitors were modeled and their characteristics were researched. And then we analyzed and experimented the effect on the control IC operation in this system. Due to the high ignition voltage, the DC power line on control IC is contaminated with the impulsive noise voltage. So the control IC operation is stopped. Therefore we have found that contamination of DC power noise is reduced by shielding, grounding pattern, and filtering method. We showed that the experimental results are agreed with the theoretical value obtained by the four types of ignitor models.

키워드 : 안정기, 점화기, HID 램프
Keywords : Ballast, Ignitor, HID Lamp

1. 서론

현재 옥외용 조명은 연색성과 광 효율이 좋은 고압방전(HID : High Intensity Discharge)램프를 주로 사용되고 있다. 고압방전램프는 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] 또한, 장마철 및 집중호우에 의한 가로등의 침수사고에 의한 감전사고가 빈번히 발생

하고 있으며, 사고예방의 목적으로 안정기에 누전감지 및 램프의 단락상태 등을 판단하는 기능의 제품들이 출시되어지는 추세이다.[3] 그리고 램프 및 안정기의 고장상태 알림 및 중앙제어를 하기 위한 전력선 모뎀 부착형 안정기도 개발 중에 있다. 그러나 가로등과 같은 밀폐된 조건에서는 점등 전압에 의한 임펄스성 백색잡음(White Noise)이 발생하게 되며, 제어용 IC의 오동작을 발생할 소지를 안고 있다.

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. 또한, 실제 가로등과 같은 밀폐된 공간을 구성하여 점화기의 점등전압이 발생하는지를 실험을 통하여 확인하였으며, 점등전압에 의한 제어용 IC의 전원전압 상태를 분석하고 문제

* 강원대학교 IT특성화대학 전기전자과 교수, 공학박사

** 강원대학교 대학원 전기전자과 석사과정

점음 제시 및 해결방안을 제안하고 실험을 통하여 증명하였다.

2. 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 풀 브리지 인버터 방식의 점화기 A

그림 1은 점화기 A의 구조이며, Sidac의 도통 전압이 발생하게 되며 전류의 루프가 형성된다.

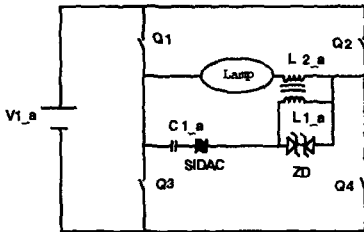


그림 1. 점화기 A의 구조

Sidac의 도통 순간은 계단입력전압의 형태이며, L1_a에 큰 전압이 걸리게 된다. L1_a의 전압은 트랜스포머에 의해서 L2_a에 전달되게 되며, 1.2kV이상의 점등전압을 발생하게 된다. 그리고 점등전압이 1.2kV이상 걸리지 않게 하기 위해서 L1_a에 병렬로 제너다이오드(ZD)를 사용하여 램프 양단의 전압을 제어하였다[4][5].

그림 2는 점화기 A를 등가모델링 하였으며, V1_a의 계단입력전압으로 가정할 수 있다. C1_a과 L1_a의 직렬저항 성분인 ESR을 고려하였으며, 램프의 점등 전에 저항은 무한대 저항으로 가정하였다.[6][7] 또한, 회로해석을 하기 위해서 비선형 소자인 제너다이오드는 없다고 가정하였다.

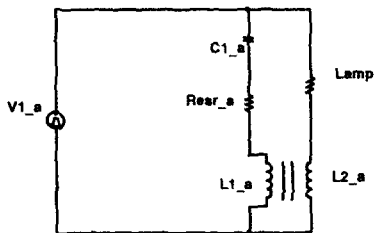


그림 2. 점화기 A의 등가 회로

그림 2의 등가 회로에서 L1_a양단의 전압은 다음과 같다.

$$V_{L1.a} = \frac{s^2}{s^2 + \frac{R_{esr.a}}{L1.a} s + \frac{1}{L1.a C1.a}} \frac{V1.a}{s} \quad (1)$$

여기서 $Q = \frac{1}{R_{esr.a}} \sqrt{\frac{L1.a}{C1.a}}$ 이 된다.

L2_a 양단의 전압은 $V_{L1.a}$ 의 전압에 트랜스포머의 턴수비에 비례하게 전압이 형성하게 된다.

$$V_{Lamp} = V1.a - n V_{L1.a} \quad (2)$$

2.2 풀 브리지 인버터 방식의 점화기 B

그림 3의 회로는 풀 브리지 인버터 구조의 점화기 B이며, 동작원리는 다음과 같이 설명할 수 있다. 풀 브리지 인버터 동작에 의해서 구형파를 만들게 된다.[7] 구형파의 변화순간을 계단입력전압의 형태이며, 램프의 점등 전 상태의 저항은 무한대로 가정할 수 있다. 회로에서 전류의 루프는 C1_b, L2_b의 경로를 따라 회로가 구성되게 된다. 구형파의 변화 순간에 C1_b, L2_b에 전압을 공급하게 되며, 이 순간에 C1_b, L2_b는 Damping 현상이 발생하게 되며, L2_b에 전압이 걸리게 된다. L2_b의 전압은 트랜스포머에 턴수비에 의해서 L2_b에 전압이 걸리게 되며, 램프에 점등 전압을 형성하게 된다.

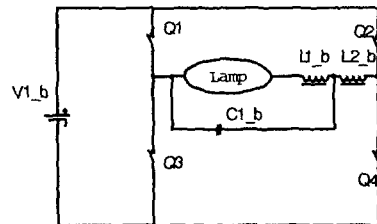


그림 3. 점화기 B의 구조

그림 4는 점화기 B를 등가한 회로이다. 등가회로의 해석에서 입력전압은 풀 브리지 인버터의 반주기 신호에 대해서만 해석하였으며, 구형파입력의 변화하는 순간은 V1_b의 계단입력전압으로 가정할 수 있다. C1_b과 L2_b의 직렬저항 성분인 ESR을 고려하였으며, 램프의 점등 전에 저항은 무한대로 볼 수 있다. V1_b의 입력상태에서는 트랜스포머의 자화 인덕터 값이 L2_b 보이게 되며, 높은 점등 전압이 발생하게 된다[5][6].

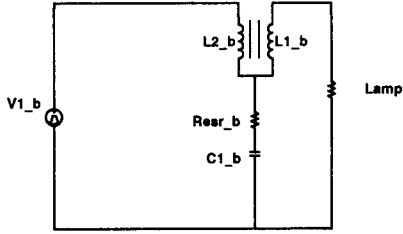


그림 4. 점화기 B의 등가 회로

그림 4에서 L2_b의 전압은 다음과 같다.

$$V_{L1_b} = \frac{s^2}{s^2 + \frac{R_{esr_b}}{L1_b}s + \frac{1}{L1_b C1_b}} \frac{V1_b}{s} \quad (3)$$

여기서 $Q = \frac{1}{R_{esr_b}} \sqrt{\frac{L1_b}{C1_b}}$ 이 된다.

식(3)에서의 램프의 전압을 구하면,

$$V_{Lamp} = (V_{C1_b} + V_{Resr_b}) - n V_{L2_b} \quad (4)$$

으로 된다.

2.3 하프 브리지 인버터 방식의 점화기 C

그림 5의 회로는 하프 브리지 인버터 구조의 점화기 C이며, 동작원리는 다음과 같다. 램프가 오픈 상태에는 C1_c, C2_c, L1_c의 회로가 형성되며, LCC 공진 탱크 구조를 갖게 된다. LCC 공진 탱크의 경우 점등 주파수에 의해서 큰 전압이 C2_c에 걸리게 되며, 램프의 점등전압을 형성하게 된다.

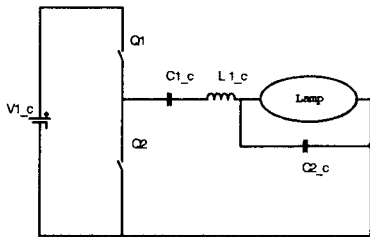


그림 5. 점화기 C의 구조

그림 6은 점화기 C를 등가한 회로이다. 입력전압은 스위칭 주파수의 기본성분만을 고려하여 등가하였다. 그리고 L1_c, C1_c, C2_c의 직렬저항 성분인 ESR을 고려하였다.

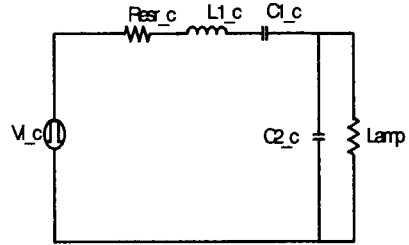


그림 6. 점화기 C의 등가 회로

그림 6의 전달함수를 구하면, 식 5와 같다.

$$\frac{V_{C2_c}}{V_{i_c}} = \frac{1}{s^2 + s \frac{R_{esr_c}}{L1_c} + \frac{C1_c + C2_c}{L1_c C1_c C2_c}} \quad (5)$$

2.4 자기식 안정기의 점화기 D

그림 7은 자기식 안정기의 점화기 회로이다.[8] 램프가 오픈상태 시 R1과 R2에 전압에 의해서 SCR의 턴-온 전압이 형성되게 되며, SCR이 턴-온하면 L1_d와 C1_d에 전류 루프가 형성된다. SCR이 턴-온 되는 순간의 L1_d와 C1_d의 Damping 현상이 일어나게 된다. L1_d와 L2_d는 단권변압기의 구조를 가지고 있으며, L1_d에 걸린 전압은 턴-수비에 의해서 L2_d에 고전압을 발생하게 된다.

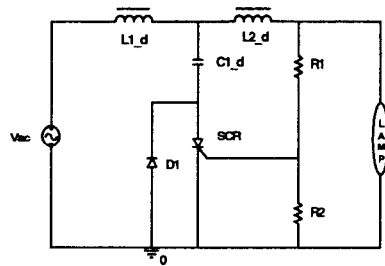


그림 7. 점화기 D의 구조

그림 8은 점화기 D를 등가한 회로이다. 입력전압은 268V에서 SCR의 턴온하게 되며, L1_d, C1_d의 계단입력전압으로 가정하였다. 그리고 L1_d, C1_d의 직렬저항 성분인 ESR을 고려하였다.

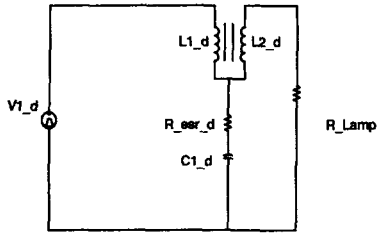


그림 8. 점화기 D의 등가 회로

그림 8에서 L1_d의 걸리는 전압은 다음과 같다.

$$V_{L1,d} = \frac{s^2}{s^2 + \frac{R_{esr,d}}{L_{1,d}}s + \frac{1}{L_{1,d}C_{1,d}}} \frac{V_{1,d}}{s} \quad (6)$$

여기서 $Q = \frac{1}{R_{esr,d}} \sqrt{\frac{L_{1,d}}{C_{1,d}}}$ 이 된다.

램프 양단의 전압은 트랜스포머의 턴-수비에 의해서 식 7과 같이 결정된다.

$$V_{Lamp} = (V_{C1,d} + V_{R_{esr,d}}) - n V_{L2,d} \quad (7)$$

3. 실험 및 고찰

점화기 4종류에 대해서 실험하였으며, 고압방전 램프의 점등전압인 1.2kV 이상의 전압이 발생하는지 확인하였다. 또한, 제작된 점화기를 가로등주 같은 밀폐된 조건에서 실험을 하였다.

3.1 점화기 A

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

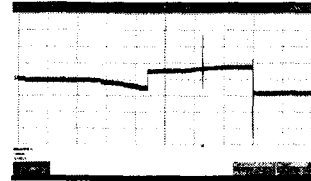
$R_{esr,a} = 3\Omega$	$L_{1,a} = 6\mu H$
$C_{1,a} = 153pF$	$n = 17$ (턴수비)

식(1)에 의해서 $V_{L1,a}$ 의 최대값은 약 380V이며, 트랜스포머에 의해서 6.4kV까지 상승하게 된다. 그러나 제너다이오드(ZD)를 고려하면, $V_{L1,a}$ 의 최대값은 94V로 제한되게 된다. 식(2)에 의해서 점등전압이 형성하는 것을 알 수 있다.

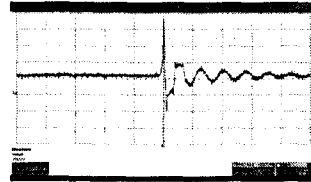
$$V_{Lamp} = 380 - 17 \times 94 = -1.218KV$$

그림 9는 실제 제작된 점화기 A의 실험 결과는 그림 (a)의 파형과 같으며, sidac의 턴-온 상태에서

점등 전압이 발생하는 것을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 9. (a) 점화기 A의 전압파형 (350V/div, 1ms/div), (b) 점등전압 (200V/div, 10μs/div)

3.2 점화기 B

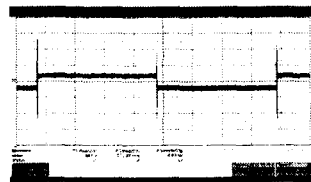
표 2는 점화기 B의 소자 값이며, 식(3)과 식(4)의 의해서 점등전압을 구할 수 있다.

표 2 점화기 B의 소자 값

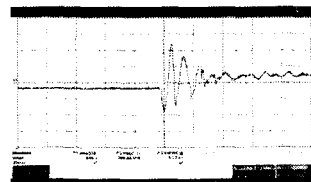
$R_{esr,b} = 3\Omega$	$L_{1,b} = 3.8\mu H$
$C_{1,b} = 153pF$	$n = 12.7$ (턴수비)

$$V_{Lamp} = 380 - 12.7 \times 380 = -4.446KV$$

그림 10은 위의 소자 값을 적용하여 제작한 점화기의 램프 전압 파형이다.



(a)



(b)

그림 10. (a) 점화기 B의 점등 전압 (1kV/div, 1ms/div), (b) 확대파형 (1kV/div, 5μs/div)

풀 브리지 인버터의 전압이 변화는 순간마다 점등 전압이 발생하는 것을 알 수 있다. 실험에서 점등 전압은 4.15kV의 높은 전압이 발생하는 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 11과 같은 특성을 나타내며, A점은 점등전압의 형성과정이며, B점은 정상상태의 전달함수 특성을 나타낸다.

표 3 점화기 C의 소자 값

$C_{1,c} = 0.22\mu F$	$C_{2,c} = 0.0068\mu F$
$L_{1,c} = 193\mu H$	

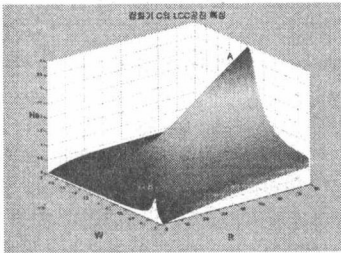


그림 11. 점화기 C의 LCC 공진 탱크 특징

그림 11의 램프가 점등 전 주파수는 전달함수의 특성이 1.2kV인 지점의 주파수인 190kHz 구동하게 된다.

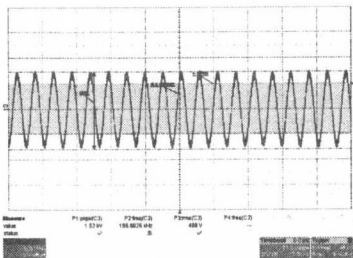


그림 12. 점화기 C의 점등전압 파형 (500V/div, 10µs/div)

실제 실험에서는 그림 12에서처럼 187kHz 지점에서 1.53kV인 점등전압을 형성하는 것을 알 수 있다.

3.4 점화기 D

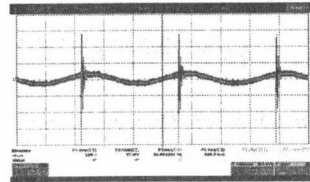
표 4는 점화기 D의 소자 값이며, 식(6)과 식(7)의 의해서 점등전압을 구할 수 있다.

표 4 점화기 D의 소자 값

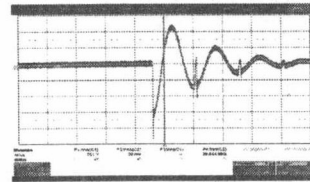
$R_{esr,d} = 3\Omega$	$L_{1,d} = 5mH$
$C_{1,d} = 0.22\mu F$	$n = 16$ (턴수비)

$$V_{Lamp} = (268 + 30) - 268 \times 17 = -4.258KV$$

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



(a)



(b)

그림 13. (a) 점화기 D의 전압파형 (1kV/div, 5ms/div), (b) 확대파형 (1kV/div, 200µs/div)

4. 점등전압에 의한 제어용 IC의 영향 및 감쇄 방법

고압방전램프를 켜기 위한 점등전압은 1.2kV 이상이 필요하며, 임펄스성 고전압이 발생하게 된다. 임펄스성 고전압은 주파수 측면에서는 백색잡음(White Noise)에 해당하며, 노이즈 의해서 제어용 IC의 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 점등전압이 가장 높은 점화기 D를 실험하였으며, 안정기에 포함되어있는 제어용 IC의 전원상태를 분석하여 문제점을 제시하고 노이즈의 감쇄 방법을 제안 제작하여 실험하였다.

그림 14는 점화기 D의 점등전압 발생 시의 제

어용 IC의 전원전압 상태를 보여주고 있다. 점등전압에 의한 방사노이즈에 의해서 제어 IC의 전원전압이 매우 크게 변동하는 것을 알 수 있으며, 제어용 IC의 오동작을 할 가능성이 매우 높으며, 실제 오동작을 하는 것을 확인할 수 있다.

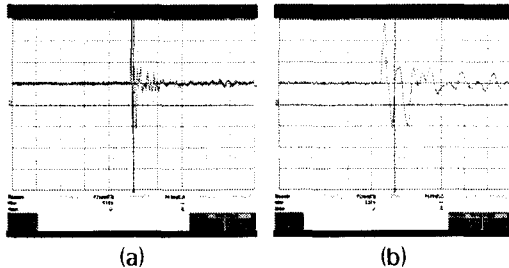


그림 14. 점등전압 발생시 (a) 제어용 IC의 전원 전압 파형(5V/div, 100ns/div), (b) 확대파형 (5V/div, 20ns/div)

그림 15의 파형은 점화기 회로와 제어용 IC회로 부분을 방사노이즈로부터 차폐를 시켰으며, 전도노이즈를 감쇄하기 위해서 2차 Butter-worth 수동 필터를 적용하였으며, 안정기 케이스를 접지하고 실험을 하였다.

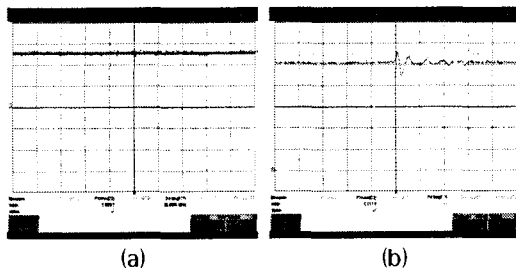


그림 15. 점등전압 발생시 (a) 제어용 IC의 전원 전압 파형(2V/div, 100ns/div), (b) 확대 파형(1V/div, 20ns/div)

실제 점등전압에 의한 제어용 IC의 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 영향을 최소화하는 방법으로 제어용 IC전원의 필터를 설계 적용하는 방법과 방사성노이즈로부터의 차폐하는 방법을 통하여 제어용 IC의 전원노이즈가 감쇄하는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 고압방전램프 안정기에 사용되는 4종류의 점화기 회로의 ESR을 고려한 모델링방법을 제안하였으며, 가로등과 같은 밀폐된 공간에서 높은 점등전압에 의한 임펄스성 노이즈에 의한 제

어용 IC의 오동작을 줄이는 방법에 대해서 연구하였다. 전자식 안정기의 풀 브리지 방식에 의한 점등회로를 2종류를 모델링하여 특성을 분석하였으며, LCC공진 탱크를 이용한 하프 브리지 방식의 점등회로도 분석하였다. 마지막으로 현재 널리 사용되어지는 자기식 안정기의 점등회로도 분석하였다. 총 4종류 점화기의 ESR을 고려한 모델링 방법이 타당함을 증명하기 위해서 실험을 통하여 이론값과 측정값의 일치함을 증명하였다. 또한 점등전압에 의한 문제점 및 해결방안을 제시하였고, 실험을 통하여 제어용 IC의 오동작이 줄어드는 것을 알 수 있었다. 본 논문의 모델링 방법은 HID램프용 안정기의 점화기의 설계시의 소자 값의 결정에 있어서 유용하게 사용될 수 있으며, 다기능 안정기 개발에 있어서 제어용 IC의 사용 시 문제점의 해결방안으로 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] 서울특별시, "가로등 안전관리대책 학술연구 용역". 2002, 9
- [4] 박종연, 정동열, "HID 램프용 전자식 안정기의 점화기에 관한 연구" 강원대학교 산업기술연구소, 1998 Page(s):157-163, Vol. 18,
- [5] Philips Semiconductors, "HID 70W application with UBA 2032", *Fact Sheet*.
- [6] 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
- [7] 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
- [8] 김민영 "HID 램프용 자기식 안정기의 보호장치에 관한 연구", 인천대학교 산업대학원, 전기공학과, 2003. 8