

자동차 헤드라이트용 MHD 램프등의 전자식 안정기

박종연 주병훈  
강원대학교 전기공학과

ELECTRONIC BALLAST FOR MHD LAMPS OF AUTOMOTIVE HEADLIGHT

Chong-Yeun Park Byung-Hun Ju  
Department of Electrical and Electronic Engineering, Kangwon National University

**Abstract** - The electronic ballast for MHD lamp was studied for automotive headlight application. Its basic principle is the Current Sourcing Push-Pull Resonant Inverter with DC 12Volt input Voltage. By changing the switching frequency according to the lamp state, the automotive requirement of very fast warm-up and the zero voltage switching condition were shown by the simulation of the ballast circuit.

Lm이라고 하면 그림2와 같은 등가회로가 된다. 그림1에서 램프가 점화하기전 MOSFET의 Gate 구동 회로에서 발생하는 스위칭 주파수를 fsv, 그림2에서 고유한 진동 주파수 fov, 입력 전압의 인가에 의한 공진 주파수를 frv라고 한다면 각각 다음과 같다.

1. 서론

HID 램프 가운데 특히 MHD(Metal Halide Discharge)램프가 가장 효과적인 광원 가운데 하나로 밝혀졌다.<sup>(1)</sup>

MHD 램프의 광효율, 긴수명, 연색성, 아크발생시간이 짧은 특성은 자동차 헤드라이트용으로 쓰고 있는 기존의 할로젠 램프를 대체하는데 적합하다.

이러한 MHD 램프가 보편화 되지 못하는 주된 요인은 구동 가능한 전자식 안정기의 실현이 어렵기 때문이다.<sup>(2)-(3)</sup> 기존의 자동차용 MHD 램프용 안정기는 자동차 전원 DC 12 Volt를 램프에서 필요한 전원 AC 80Volt로 만들기 위해서 DC-DC 변환기와 DC-AC 변환용 인버터에 의해서 2단계로 설계되었다.<sup>(4)</sup> 이러한 2단계의 설계 및 제작 방법은 램프의 warm-up 기간 동안 고출력을 램프에 공급해야하는 문제로 복잡한 회로가 필요하다.<sup>(5)</sup>

본 연구에서는 자동차용 35Watt 정격 출력을 갖는 MHD 램프의 구동회로를 실현하기 위해서 정상 상태의 관전압이 82Volt, 정상상태 관전류가 0.44A이며 점화기를 내장한 OSRAM社의 D2S 램프용 전자식 안정기 회로를 설계하고 시뮬레이션 함으로써 가능성을 입증하였다.

사용한 인버터의 원리는 CSPPRI (Current Source Push Pull Resonant Inverter) 방식<sup>(6)</sup>으로 영전압 스위칭 (ZVS) 동작 및 빠른 warm-up 조건을 달성하기 위해서 램프의 상태에 따라서 스위칭 주파수를 가변하였으며, 정상상태에서 음향공명현상을 제거하기 위해서 스위칭 주파수는 1.0MHz~1.5MHz로 하였다.

2. 동작 원리

자동차 헤드라이트용 전자식 안정기로 본 논문에서는 그림 1과 같은 구조를 연구하였으며 동작 원리 및 순서는 다음의 세 종류로 구분된다.

2.1 점화전 상태 (Voltage-Source Mode)

램프가 점화하기 전에는 램프 양단의 임피던스 Ziamp는 차단 회로 (Ziamp = ∞)로 간주되며, T2의 2차측 기생용량 Cs, T2의 1차측 인덕터 및 누설 인덕터의 합을

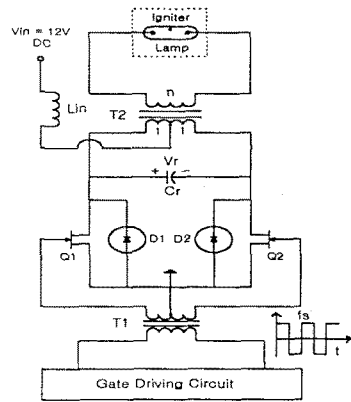


그림.1 자동차 헤드라이트 전자식 안정기 회로도

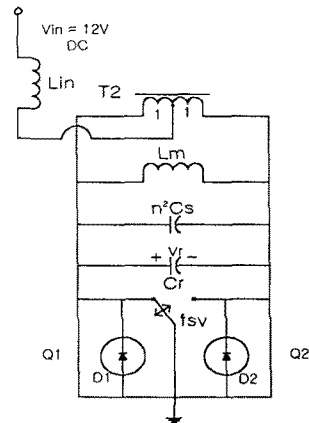


그림.2 점화된 상태 등가회로

$$f_{cv} = \frac{1}{2\pi\sqrt{Lm(Cr + n^2Cs)}} \quad \text{-----(1)}$$

$$f_{rv} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(Lm/4Lin)(Cr + n^2Cs)}} \quad \text{-----(2)}$$

ZVS(Zero Voltage Switching)의 조건을 달성하기 위해서 그림1과 그림2에서 Cr의 전압 Vr과 Q1과 Q2의 Gate-Source 간 전압을 Vgs1 및 Vgs2라고 하면

그림3과 같은 동작 파형이 된다. 즉  $\frac{T_s}{2} - T_\lambda$ 의 시간 차 동안  $V_r$ 의 전압이 zero이므로  $V_r=0$ 인 점에서 Q1 혹은 Q2가 switching을 해야만 ZVS 조건을 만족하여 MOSFET의 스위칭 손실을 최소화 할 수 있다. 그림3에서  $T_\lambda$  기간을 준공진 상태라고 말하며  $\theta_\lambda$ 와  $b$ 를 식(3) 및 식(4)로 정의한다.

$$\theta_\lambda = 2\pi \cdot frv \cdot T_\lambda \quad \text{----- (3)}$$

$$b = \frac{Lm}{4 \times Lin} \quad \text{----- (4)}$$

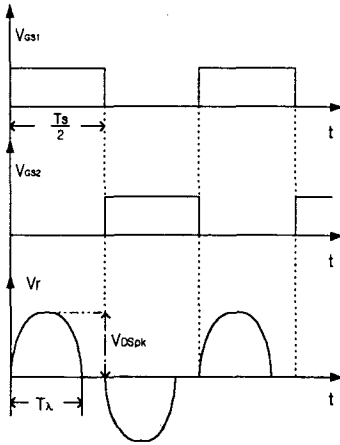


그림3. waveform for ZVS-operation

식(3), 식(4)를 이용하여 식(2) 및  $V_{DSpk}$ 값을 나타내면<sup>(7)</sup> 식(5)~식(7)과 같으며 수치해석 결과는 그림4 및 그림5와 같다.

$$frv = \sqrt{1 + b} \times fov \quad \text{----- (5)}$$

$$V_{DSpk} = \frac{\pi^2 \times Vin \times \sqrt{1 + b}}{\theta_\lambda} \left( \frac{fov}{fsv} \right) \quad \text{----- (6)}$$

$$\frac{fsv}{fov} = \frac{\pi \sqrt{(1 + b)^3}}{\theta_\lambda - 2 \tan\left(\frac{\theta_\lambda}{2}\right)} \times \frac{1}{b} \quad \text{----- (7)}$$

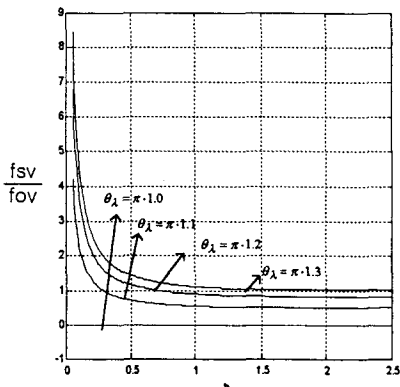


그림4. 주파수의 비와 b의 관계

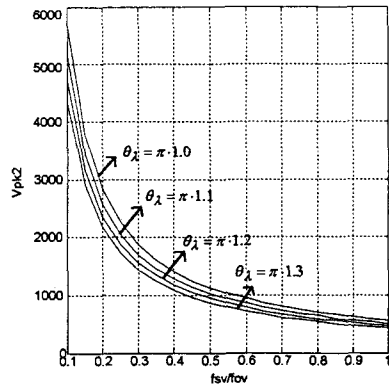


그림5. 전압과 주파수와의 관계

## 2.2 점화 후 상태 (Current Source Mode)

점화가 시작되면 램프가 동작하여 그림1에서 T2의 2차측 임피던드  $Z_{lamp} = R_{lamp}$ 로 감소하여 1차측에 나타나며 이때  $C_s$ 의 영향은 무시된다. 1차측의 누설 인덕턴스 및 2차측의 누설 인덕턴스의 1차측 반사량을 합하여  $Lrc$ 라고 할 때 매우 작은 값(약 1uH 이하)으로 되며  $Lin \gg Lrcs$ 로써 그림6과 같은 등가회로에 의해서 나타낼 수 있다.

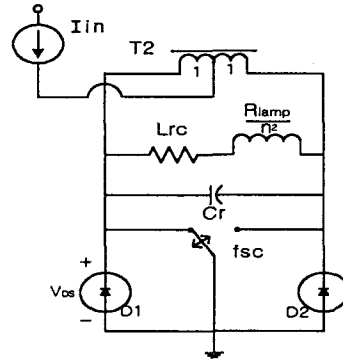


그림6. 점화후 등가회로

Warm-up 상태에서 램프의 전압은 15~20 Volt 이고 전류는 정상 동작때보다 6~8배 정도를 흘려서 정상 전력보다 2배 정도의 전력을 공급해야만 수초내에 정상 상태에 도달할 수 있다.

표1.warm-up시의 램프 저항

P	60W	65W	70W	75W	80W	85W
0.44×6	8.6	9.3	10	10.76	11.48	12.19
0.44×7	6.32	6.85	7.38	7.9	8.43	8.39
0.44×8	4.84	5.24	5.65	6.05	6.46	6.86

표2. 정상 상태에서 램프의 저항

P I(mA)	33W	34W	35W	36W	37W
0.40	206.25	212.5	218.75	225	231.25
0.44	170.45	175.62	180.79	185.95	191.11
0.48	143.23	147.57	151.9	156.25	160.6

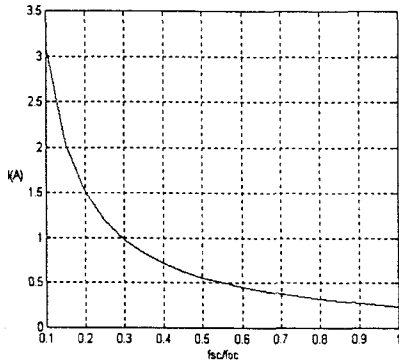


그림7. Warm-up시 부하전류와 주파수의 관계

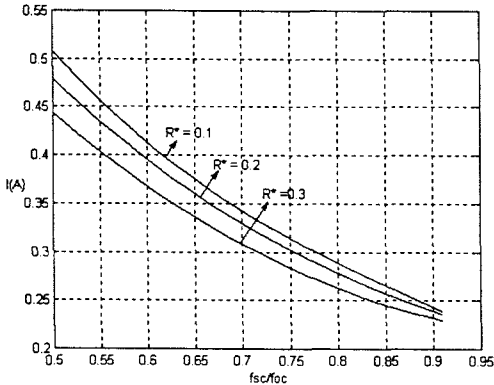


그림8. 정상 상태에서 부하전류와 주파수와의 관계

Warm-up 기간 및 정상 상태에서 램프의 전류, 전력의 관계에 의하여 산출된 램프의 등가 저항은 각각 표1 및 표2와 같다. 여기서 warm-up 기간의 램프의 등가저항은 대단히 적은 값(4~13Ω)이며 정상 상태에 도달하면 램프의 등가저항이 변한다. 그림7에서 warm-up 기간의 램프의 전류를 높이기 위해서는 fsc를 작게해야 한다. 이 때 공진시 특성 임피던스를 Zrc, 고유 진동 주파수 foc 공진 주파수 frc는 각각 식(8) ~ 식(10)과 같다.

$$Z_{rc} = \sqrt{\frac{Lrc}{Cr}} \quad \text{----- (8)}$$

$$foc = \frac{1}{2\pi\sqrt{Lrc \cdot Cr}} \quad \text{----- (9)}$$

$$frc = foc \sqrt{1 - \left(\frac{R^*}{2}\right)^2} \quad \text{----- (10)}$$

$$\text{단 } R^* = \frac{R_{lamp}}{n^2 \cdot Zrc}$$

정상 상태에서 R\*의 변화에 따른 전류의 변화는 그림 8 과 같고 식(10)에서 정상상태에서 frc(foc임에 유의하여야 한다.

### 3. 설계 및 검토

Vin = 12Volt(DC), Lin = 20 μH, Lrv = 100 μ = 5.1nF Cs = 40pF, Lrc = 0.8 μH, n = 10, Q1,Q2: IRF540이 되었으며 해석하여 얻은 결과 fsc = 1.29MHz, fsv = 124kHz이었고 Vspk = 66 Volt 가 되어서 타당한 값으로 간주하였다.

### 4. 결론

CSPPRI 방식의 인버터를 자동차 헤드라이트용 전자식 안정기로 설계하여 simulation한 결과 영전압 스위칭(ZVS)에 의하여 구동이 가능하며 MOSFET의 스위칭 손실을 최소화 할수 있음을 밝혔다. 또한 10초 이내의 빠른 warm-up을 달성하기 위한 방법으로 스위칭 주파수를 가변함으로써 정상전력의 2배 정도를 공급할 수 있었다. 정상 상태에서는 음향 공명 현상을 제거하기 위해서 1M~1.5MHz의 고주파를 공급할 수 있는 회로를 밝혔다.

### (참 고 문 헌)

- [1] J.P.Frier and M.E.Gazley Frier, Industrial Lighting Systems, McGraw-Hill Book Company, 1980.
- [2] M.Gullko and S.Ben-Yaakov, "Current-sourcing push-pull parallel-resonance inverter(CS-PPRI) : theory and application as a discharge lamp driver," IEEE Trans.on Industrial Electronics, 451, pp. 258-291,1994.
- [3] J.W.Denneman, "Acoustic resonances in high frequency operated low wattage metal halide lamps," Philips Journal of Research, Vol.38, No.4/5, pp.263-272, 1983.
- [4] H-J.Faehnrich and E.Rasch, "Electronic ballasts for metal halide lamps," Journal of the Illuminating Engineering Socitey, pp. 131-140, Summer, 1988.
- [5] F. Goodenough, "Novel DC-DC converter keeps power constant," Electronic Design, No. 1, pp.51-62, April, 1996
- [6] C. Diazzi, F.Martignoni, P.Nora, R.Quaglino and T.Placke, "A power BCD chipset for automotive HID lamp ballast systems," proc. PESC-96 (Baveno,Italy), June, 1996, pp. 1766-1772.
- [7] G.Ivensky, A. Avramovitz, M.Gulko and S.Ben Yaakov, "A resonant DC-DC transformer," IEEE Trans.on Aerospace and Electronic System, Vol.29, No.3, pp. 926-934, July, 1993.