

고압 나트륨램프용 자려식 전자식 안정기의 신호 증폭형 게이트 구동회로

윤용식^o, 조규형

대전광역시 유성구 구성동 한국과학기술원 전기 및 전자공학과

Signal Amplifying Gate Driver of Self-Excited Electronic Ballast for High Pressure Sodium (HPS) Lamp

Yong-Sik Youn^o and Gyu-Hyeong Cho

Dept. of Electrical Engineering, KAIST, Taejeon, Korea

Abstract - A regenerative signal amplifying gate driver of self-excited electronic ballast is presented. It can be used for high pressure sodium (HPS) lamp without auxiliary external ignitor. Since the HPS lamp requires very high ignition voltage at start up, the resonant frequency of the circuit must be increased to obtain high voltage oscillations in spite of relatively small resonant current. The presented gate driver amplifies the current of gate drive transformer and raises the gate-source voltage quickly to turn on the MOSFET switches. Hence, the resonant frequency can be increased more than 100kHz. The HPS lamp used in the simulation and experiment has the rating of 400W input power at 220V input ac voltage source. The experiments show that the resonant frequency is above 150kHz at start up.

이상의 start시 스위칭이 불가능하기 때문에 본 논문에서는 새로운 형태의 신호 증폭형 게이트 구동 회로를 설계하였다.

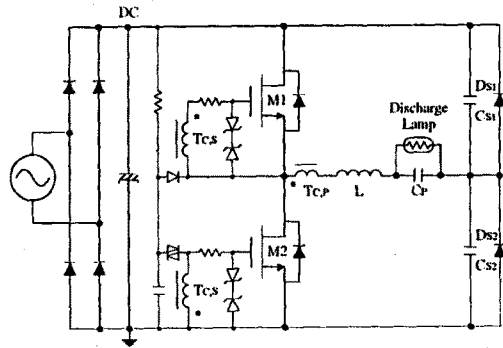


그림 1 자려식 구동의 전자식 안정기 기본 회로

1. 서론

방전등은 높은 발광 효율을 갖기 때문에 오늘날 인공 조명으로 가장 널리 이용되고 있다. 방전등은 부성저항 특성으로 인하여 안정기를 필요로 하는데, 현재 사용되는 기계식(코일식) 안정기는 부피가 크고 무거우며, 120Hz의 깜박임 및 가청잡음이 있고, 효율이 작은 단점이 있다. 그러나, 가청주파(20kHz) 이상의 고주파로 동작하는 전자식 안정기는 깜박임과 가청잡음이 거의 없고, 가볍고 작으며, 50~60Hz 동작에 비해 같은 광출력에서 15% 정도의 효율이 증가하는 등의 장점이 있다.

전자식 안정기의 공진형 인버터는 회로가 간단하고 별도의 구동회로가 필요없는 자려식 방식이 주로 이용되는데, 고압 나트륨램프와 같이 상당히 높은 방전전압을 필요로 하는 방전등은 보통 방전을 위한 회로(ignitor)가 추가되어야 한다. ignitor가 없는 일반적인 전자식 안정기를 이용하는 경우에는 정상상태의 동작 주파수와 사용되는 소자의 크기 및 가격을 고려하여, start시 100kHz 이상의 스위칭 주파수가 가능해야 한다. 그러나 보통의 자려식 게이트 구동회로는 100kHz

2. 신호 증폭형 게이트 구동회로

직렬 공진형 인버터를 이용한 전형적인 half bridge 형태의 전자식 안정기 기본 회로는 그림 1과 같다. 그림 1은 별도의 gate driver와 controller가 필요없이 gate drive transformer에 의해 스위칭 동작을 하는 자려식 공진 회로를 이용하였다.

방전하기 전의 방전등은 개방상태이므로 공진전류는 L_s - C_p - C_s 경로로 흐른다. 일반적으로 방전등은 고전압을 등 양단에 인가하여야 방전되는데 이를 위하여 등과 병렬로 C_p 를 연결하여 구현한다. 보통 C_p 는 C_s 보다 상당히 작은 값을 갖기 때문에, C_p - C_s 의 직렬회로에서 C_s 는 무시되고, start시 L_s 와 C_p 의 공진에 의해 등 양단의 고전압을 얻는다. 따라서, 초기 start시 공진형 LCC network의 공진주파수(f_o)와 특성임피던스(Z_o)는 식(1)로 근사화될 수 있다.

$$f_o \cong \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s \cdot C_p}}, \quad Z_o \cong \sqrt{\frac{L_s}{C_p}} \quad (1)$$

공진에 의하여 L에 흐르는 공진전류(I_L)가 지속적으로 증가하면, C_p 양단에 나타나는 공진전압(V_{Cp})은 식 (2)와 같이 I_L와 Z_o의 곱으로 표현되어 증가하고 결국 방전전압에서 등을 방전시킨다.

$$V_{Cp} = I_L * Z_o = I_L * \sqrt{\frac{L}{C_p}} \quad (2)$$

고압나트륨등은 매우 높은 방전전압(약 2000V)을 요구하기 때문에 큰 값의 I_L와 Z_o를 필요로 한다. 큰 I_L은 인덕터와 커패시터 크기를 증가시키고 더욱 비싼 스위칭 소자를 필요로 하므로, 요구되는 높은 방전전압은 Z_o를 증가시킴으로써 얻어져야만 한다. 한편, 식 (2)에서의 L은 정상상태에서의 출력전력과 스위칭주파수를 결정하므로 거의 조절가능하지 않다. 따라서, 가능한 높은 방전전압을 얻기 위하여 C_p가 최소화되어야 한다.

그러나, C_p의 감소는 식 (1)에서 공진주파수(f_o)의 증가를 초래하므로 임의로 줄여질 수 없다. 왜냐하면 아래의 식 (3)으로 표현되었듯이 f_o가 증가될수록 f_o에 반비례하는 MOSFET gate-source 전압(V_{GS}) 변화가 작아서 MOSFET를 스위칭시키기가 어렵기 때문이다.

$$\Delta V_{GS} \propto \frac{1}{C_{GS}} \frac{I_{Tc,s}}{f_o} \quad (3)$$

식 (3)에서 C_{GS}는 MOSFET의 gate-source 커패시턴스이고 I_{Tc,s}는 gate drive transformer의 2차측 전류이다. 대전력 고압 나트륨등은 큰 크기의 MOSFET 스위치를 필요로하므로 C_{GS}가 상당히 크다. 그리고 I_{Tc,s}는 정상상태의 전력손실과 관계가 있으므로 최소화된 값으로 정해지고, 더욱이 초기 트리거시 상당히 작은 값을 갖는다. 따라서, 식 (3)에서 단지 f_o만이 주요한 영향을 끼치고 f_o가 클수록 start시 스위칭이 어려워진다.

실제적으로, 100kHz 이상의 f_o에서는 V_{GS} 변화가 너무 작아서 MOSFET의 문턱전압에 이르지 못하므로 스위칭이 이루어지지 않는다. 결국 별도의 ignitor가 없는 자려식 구동회로에서 f_o는 100kHz 이상으로 증가될 수 없다.

그러므로, 본 논문에서는 새로운 형태의 신호 증폭형 게이트 구동 회로를 설계하여 start시의 스위칭 주파수를 100kHz 이상으로 증가시켰다. 그림 2는 설계된 신호 증폭형 게이트 구동회로이다.

DC 전원이 인가되면 저항 R_{1,2}를 통해 흐르는 전류는 커패시터 C_{1,2}를 제너다이오드의 항복전압(V_Z)로 충전시켜 게이트 구동회로의 전원을 만든다. 초기 트리거에 의하여 M2가 on되면 공진전류는 M2로 흐르기 시작한다. 공진에 의하여 I_L의 방향이 바뀌어 gate drive transformer의 2차측에 미약한 공진전류가 유키 되면, Q1은 미리 충전된 C₁의 전원을 이용하여 공진전류를 증폭한 후 M1의 gate에 공급함으로써 V_{GS1}을 문턱전압까지 순간적으로 상승시켜 M1을 on시킨다. 이와 동시에 공진전류의 방향에 따라 I_{Tc,s}는 D₂를 통하

여 C_{GS2}을 방전시켜 M2를 off시킨다. 일단 M1이 on되면 나머지 I_{Tc,s}는 더 이상 Q1으로 흐르지 못하고 D₁₁을 통하여 다시 C₁을 충전시킨다.

공진이 계속됨에 따라 M1과 M2는 교대로 on, off하며, 앞의 설명과 같은 동작을 반복함으로써 공진형 인버터에 전력을 공급한다. 보통 V_{GS}는 전압 제한을 갖기 때문에, 제너다이오드 Z₁₁~Z₂₂를 사용하여 V_{GS1,2}를 V_Z로 제한하였다. D_{12,22}는 I_{Tc,s}의 나머지 전류를 Z_{12,22}로 흐르는 경로를 만들어 준다.

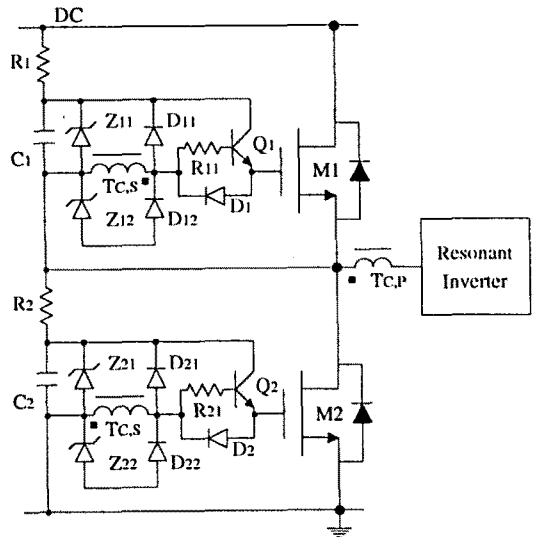


그림 2 신호 증폭형 게이트 구동회로

3. 모의실험 및 실험 결과

새로운 게이트 구동회로를 갖는 고압 나트륨램프용 전자식 안정기가 모의실험 후 실제 실험되었다. 실험된 전자식 안정기는 별도의 ignitor가 없이 자려식 구동의 직렬 공진형 인버터 구조로서, AC 220V에서 400W의 정격 전력을 갖는다.

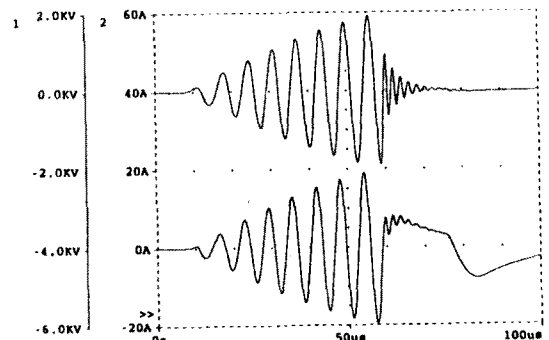


그림 3 start시의 모의실험 파형
위: 공진전압(V_{Cp}), 아래: 공진전류(I_L)

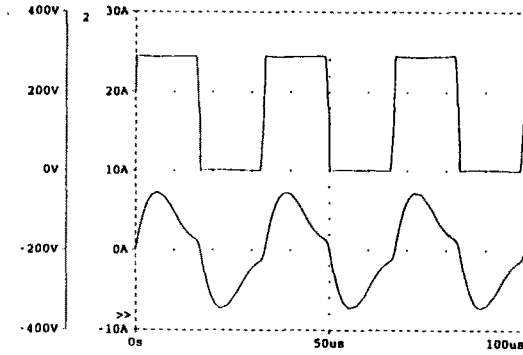


그림 4 정상상태에서의 모의실험 파형
위: 구형파전압(V_{DS1}), 아래: 인덕터전류(I_L)

모의실험에서 400W 고압 나트륨램프는 start시 개방 상태로 가정되었고, 정상상태에서는 20ohm의 등가저항으로 모델링되었다. 또한 방전 직후의 나트륨램프는 대략 5ohm+10uH의 임피던스를 갖고, 방전전압은 2000V로 모의실험하였다. 모의실험을 통하여 정해진 공진형 인버터의 주요한 소자값은 다음과 같다.

$$C_p = 10nF, C_{s1,2} = 100nF, L = 100uH$$

실제 실험을 통하여 설계된 신호증폭형 게이트 구동 회로가 앞에서 설명했던 동작을 원활히 수행하여, 거의 160kHz 이상의 스위칭 주파수를 갖고 방전전압은 대략 1800V임을 확인하였다.

그림 7을 보면 정상상태에서의 400W 나트륨램프의 등가저항이 모의실험에서의 고정된 20ohm이 아니라, 공진전류가 그림 1의 $D_{S1,S2}$ 를 통하여 환류하는 구간에서 거의 10ohm으로 떨어짐을 보여준다. 그래서 정상상태의 스위칭 주파수가 모의실험과는 다르게 대략 23kHz로 감소되었다. 왜냐하면 환류 구간에서의 램프

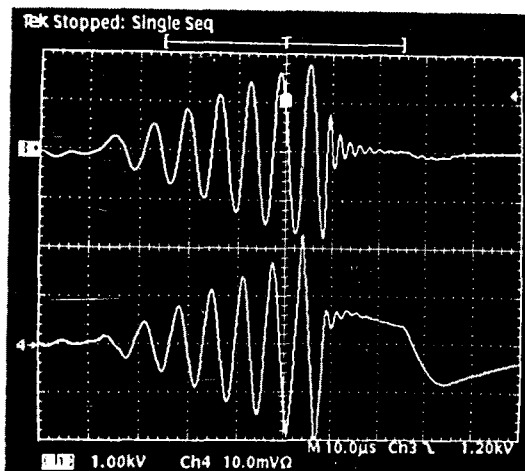


그림 5 start시의 실험 파형
위: 공진전압(V_{cp}), 아래: 공진전류(I_L) [10A/div]

등가저항의 감소는 시상수를 증가시켜 결국 스위칭 주파수를 감소시키기 때문이다.

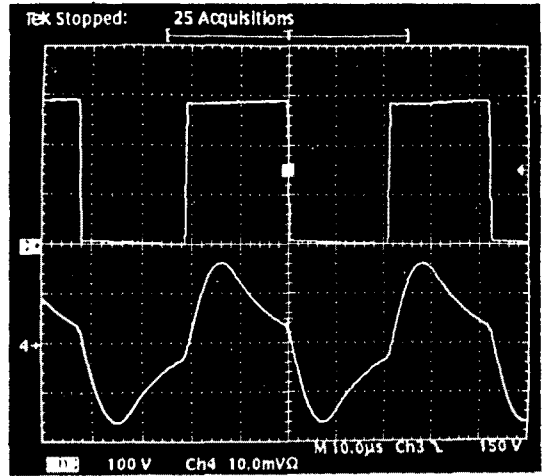


그림 6 정상상태에서의 실험 파형
위: 구형파전압(V_{DS1}), 아래: 인덕터전류(I_L) [5A/div]

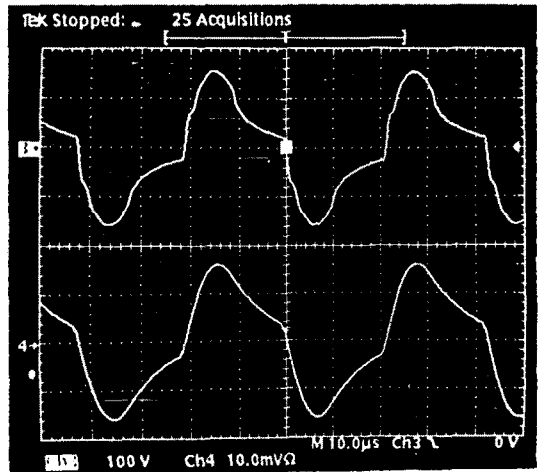


그림 7 정상상태에서의 실험 파형
위: 등양단전압(V_{cp}), 아래: 등전류(I_{Lamp}) [5A/div]

4. 결론

본 논문에서 별도의 ignitor가 필요없는 새로운 형태의 신호 증폭형 게이트 구동회로가 제안되었다. 이 회로는 특히 고압 나트륨램프와 같이 높은 방전전압을 요구하는 전자식 안정기에 적용될 수 있다. 실제 실험을 통하여, 그림 1과 같은 전형적인 자려식 전자식 안정기로는 불가능한 start시 150kHz 이상의 스위칭 주파수를 얻었다. 높은 스위칭 주파수에서는 작은 공진 전류로도 더 높은 방전전압을 얻을 수 있기 때문에 사용되는 소자의 크기 및 비용면에서 상당한 장점을 갖는다는 점을 주지할 필요가 있다.