

고성능 전자식 안정기에 적합한 공진형 인버터의 혼합형 구동방식과 제어 IC

류 태하, 채 균, 황 종태, 조 규형  
한국과학기술원 전기 및 전자공학과

Mixed mode exciting resonant inverter and control IC applicable to high performance electronic ballast

Tae-Ha Ryoo, Gyun Chae, Jong-Tae Hwang, Gyu-Hyeong Cho  
Department of Electrical Engineering  
Korea Advanced Institute of Science and Technology(KAIST)  
Kusong-Dong, Yusong-Gu, Taejon, 305-701, Korea  
TEL: +82-42-869-5424, FAX: +82-42-869-3410

**Abstract** - In this paper, a mixed mode exciting resonant inverter topology applicable to high performance electronic ballast is presented. Mixed mode exciting technique combines the attractive features of self exciting resonant inverter with those of external exciting one. The control IC is designed and manufactured by using a 0.8um CMOS process for 5V operation and has only 8 pins. This performs the operations of filament preheating, dimming control, output power regulation and protections. The mixed mode exciting resonant inverter with control IC has very simple structure, high performance and expensive manufacturing cost.

되고 있으며, 저가격의 전자식안정기는 대부분 자려식을 이용한다.

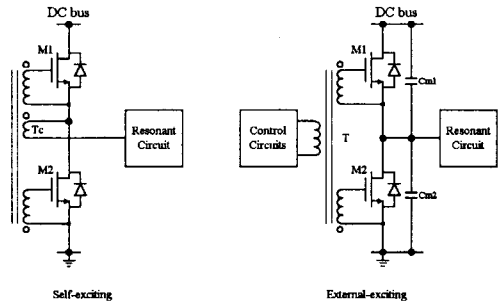


그림 1 공진형 인버터의 구동방식

1. 서 론

형광등은 백열등에 비하여 발광효율이 높아 가장 널리 사용되는 인공조명으로 부성저항 특성으로 인하여 안정기를 필요로 한다. 안정기는 방전시 높은 전압을 만들고 방전후의 전류제한 역할을 하는 것으로 현재까지 50~60Hz로 동작하는 자기식(코일식)안정기가 가장 많이 사용되고 있다[1]. 그러나, 자기식안정기는 부피가 크고 무거우며, 깜박임과 가청잡음이 있고, 큰 전력손실로 인한 낮은 효율 등의 단점을 가지고 있어 최근에는 전자식안정기(electronic ballast)에 대한 연구가 많이 되고 있다. 전자식 안정기는 가청주파수(20kHz) 이상의 높은 주파수로 동작하므로 자기식과 같은 단점이 없으며, 커패시터나 인덕터의 크기가 작아지고 형광등의 발광효율을 15%이상 증가시켜 절전효과를 얻을 수 있다는 장점을 가진다[2,3].

본 논문에서는 자려식과 타려식 구동의 장점을 결합하여 혼합형 구동(mixed mode exciting)이라는 새로운 구동방식을 제안하고 이에 적합한 제어 IC를 설계하였으며, 필라멘트 예열과 조광 기능의 실험적 확인을 통하여 저가격의 고성능 전자식안정기를 구현하였다.

2. 제안된 혼합형 구동방식의 공진형 인버터

일반적으로 전자식안정기에 사용되는 공진형 인버터(resonant inverter)는 스위치의 구동방식에 따라 그림 1과 같이 자려식(self-exciting)과 타려식(external-exciting)으로 구분된다. 자려식은 게이트 구동회로가 전류 트랜스포머(current transformer)로 구성되어 공진전류에 의해 자동적으로 게이트가 구동되므로 간단한 회로구성을 가진다는 장점이 있으며, 영전압 턴 온(zero voltage turn on)이 되고 별도의 보조회로를 추가하면 고속의 스위칭이 가능하여 스위칭손실과 구동손실을 매우 작게 할 수 있다[4]. 그러나, 자려식의 전자식 안정기는 전원전압 변화에 따라 광출력이 민감하게 변하고 방전시의 돌입전류에 의해 형광등의 수명이 저하될 수 있다. 타려식은 별도의 구동회로로 게이트를 직접 구동하므로 스위칭주파수를 가변할 수 있어 초기 기동시 필라멘트 예열(preheating)을 통하여 형광등의 수명을 연장시키고 조광(dimming)을 통하여 추가의 절전효과를 얻을 수 있으나 제어회로가 매우 복잡하고 고주파 동작시 구동손실이 커진다는 단점이 있다[5]. 일반적으로 타려식은 높은 가격의 고성능 전자식안정기에 많이 이용

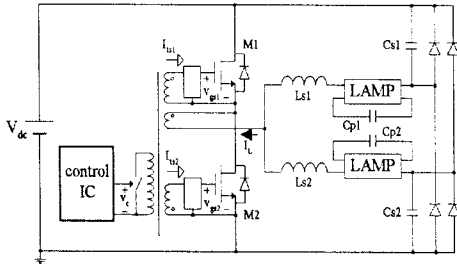
그림 2는 전자식안정기에서 제안된 혼합형 구동방식을 이용한 공진형 인버터 구조와 동작 파형을 나타낸다. 기존의 자려식에서 전류 트랜스포머에 보조권선을 추가하고 고속 스위칭이 가능하도록 보조 게이트회로를 연결한 것이 기본구조이다. 제어IC는 보조권선을 단락시키는 기능을 하며 보조권선이 단락되면 게이트에 연결된 전류 트랜스포머의 2차측 또한 단락되어 M1과 M2가 모두 오프(off) 된다. 공진전류(I<sub>L</sub>)이 M1을 통하여 흐르는 시점을 기준으로 회로 동작을 각 모드(mode)별로 설명하면 다음과 같다.

- MODE1(t<sub>0</sub>, t<sub>1</sub>) : 펄스(pulse)형태의 제어신호(V<sub>c</sub>)에 의해 보조권선이 단락되면 M1이 off되고 I<sub>L</sub>은 M2의 역병렬 다이오드를 통해 흐른다. 전류 트랜스포머의 특성상 2차측 전류(I<sub>ts1</sub>, I<sub>ts2</sub>)는 I<sub>L</sub>보다 위상이 항상 앞서게 되며 t<sub>1</sub>에서 전류의 방향이 바뀐다. 보조 게이트회로에 의해 t<sub>1</sub>까지 M1과 M2는 off 상태를 유지한다.
- MODE2(t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>) : I<sub>ts2</sub>에 의해 게이트가 충전되기 시작하여 I<sub>L</sub>의 방향이 바뀌는 t<sub>2</sub>이전에 M2의 영전압 턴 온(zero voltage turn on)이 자동적으로 이루어진다.
- MODE3(t<sub>2</sub>, t<sub>3</sub>) : 공진에 의해 I<sub>L</sub>의 방향이 바뀌면서 M2를 통하여 흐른다.
- MODE4(t<sub>3</sub>, t<sub>4</sub>) : V<sub>c</sub>에 의해 보조권선이 단락되며 M2가 off 되고 I<sub>L</sub>은 M1의 역병렬 다이오드를 통하여 흐른다. 보조 게이트회로에 의해 t<sub>4</sub>까지 M1과 M2의 off 상태를 유지한다.

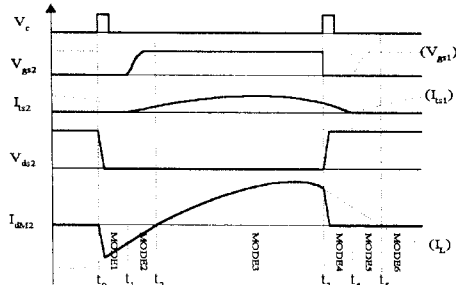
**MODE5**( $t_4, t_5$ ) :  $t_4$ 에서  $I_{st1}$ 이 양의 방향으로 흐르기 시작하며  $M_1$ 의 게이트를 충전시켜  $I_L$ 의 방향이 바뀌는  $t_5$ 이전에  $M_1$ 을 on 시켜 영전압 턴 온이 된다.

**MODE6**( $t_5, t_0$ ) :  $t_5$ 에서  $I_L$ 의 방향이 바뀌어  $M_1$ 을 통하여 전류가 흐르고 제어전압 펄스가 발생하면( $t_0$ ) 다음 사이클이 반복된다.

이상의 모드 해석을 통하여 제어 전압( $V_c$ )에 의해 각 스위치가 off되는 시점이 결정되고 제어 전압 펄스의 발생 시점을 조절하여 스위칭주파수를 가변할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 제어 IC는 펄스형 신호로 보조권선의 단락스위치만 구동하므로 기존의 타력식과는 달리 매우 작은 전력을 소모한다.



(a) 제안된 혼합형 구동방식의 공진형 인버터



(b) 각 모드별 동작파형

보호기능 등을 가지고 있으며, 주파수 조절을 통하여 필라멘트 예열과 조광기능, 일정한 광출력 유지기능을 수행한다. 그림 3은 5V용 0.8um CMOS 공정을 이용하여 8핀(pin)으로 설계된 제어 IC를 포함하는 혼합형 구동방식의 전자식안정기의 전체회로를 나타낸다.  $R_{IC}$  및  $C_{IC}$ 에 의해 기동전 IC의 전원이 만들어지고  $C_1$ 가 충전되면 diac을 통하여  $M_2$ 가 on되어 초기기동(trigger)이 이루어진다. 스위칭에 따른 구형파의  $V_{ds2}$  전압이  $C_m$ 을 통하여 제어 IC의 클럭(clock)으로 공급되고, IC 내부의 카운터(counter)에서 clock 수를 계산하여 필라멘트 예열과 방전에 필요한 시간을 정한다.  $Q_{out}$ 은 보조권선을 단락시키는 스위치로써 6번 핀을 통하여 공급되는 단락신호  $V_c$ 에 의해 제어되며  $V_c$  펄스 주기는 IC 내부의 톱니파 전류와 반비례한다. 형광등은 방전전에 매우 큰 임피던스를 가지므로  $C_s$ 와  $C_p$ 가 필라멘트 저항을 통해서 직렬로 연결되어 공진 주파수가 높아지고 방전 후에는 낮은 임피던스를 가지므로  $C_p$ 가 형광등 저항과 병렬로 연결되어 공진주파수가 낮다. 전류 트랜스포머를 이용하므로 스위칭 주파수는 항상 공진주파수 보다 높은 영역에 있게 되고 방전전 필라멘트 예열 구간이 방전 구간보다 높은 스위칭주파수를 가진다. 필라멘트 예열 시간동안의 톱니파 전류는  $R_{PH}$ 를 통하여 공급되고 방전 구간동안은 공급되지 않으며 방전이 일어난 후에는 RDM을 통하여 공급되어 3단계의 동작주파수 영역을 가지며 그림 4는 동작영역과 스위칭주파수의 관계를 나타내는 것이다.

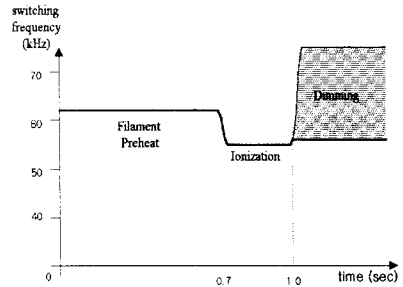


그림 4 동작영역에 따른 스위칭주파수 변화

그림 2 제안된 혼합형 구동방식의 공진형 인버터 및 동작파형

### 3. 제어 IC

제안된 구동방식과 제어 IC를 통하여 주파수조절이 가능하므로 고성능 전자식안정기를 구현할 수 있다. 설계된 제어 IC는 저전압보호(UVLO), 과온도 및 과전류

일정한 스위칭주파수로 동작하는 상태에서 DC bus 전압이 변하면 형광등의 광출력이 변한다. 따라서, 전원 전압의 변동에 대해 일정한 광출력을 얻기 위해서는 주파수를 가변해야하며,  $R_d, R_{d1}, R_{d2}$ 에 의해 DC bus 전압에 비례하는 전류가 2번 핀으로 공급되어 톱니파 전류조절을 통한 일정한 광출력을 얻을 수 있다.

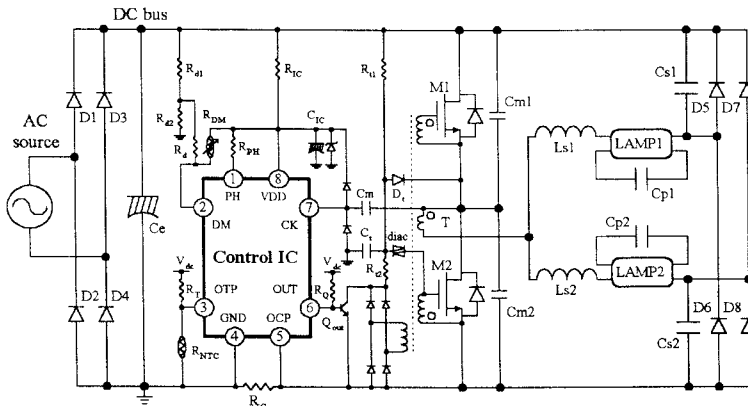


그림 3 제어 IC를 포함하는 혼합형 구동방식의 고성능 전자식안정기 전체 회로도

그림 5는 실제 제작된 제어 IC의 사진이다.

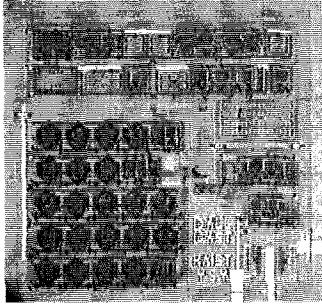
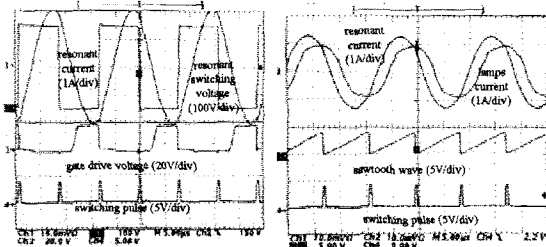


그림 5 혼합형 구동방식의 제어 IC 사진

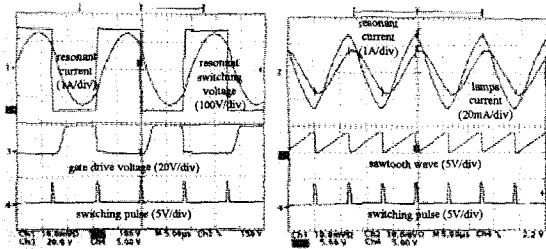
#### 4. 실험 및 결과

제안된 구동방식과 제어 IC를 이용하여 실험하였으며 그림 5는 방전전과 방전후의 동작파형을 측정된 것이고 그림 6은 조광 정도에 따른 동작 파형을 측정된 것으로 동작 영역에 따른 주파수 변화가 그림 4와 동일함을 확인할 수 있다.



(a) 방전전 (필라멘트예열) [62kHz]

(a) 최대(100%)조광 [56kHz]



(b) 방전후 (정상상태) [56kHz]

(b) 최소(2%)조광 [75kHz]

그림 6 방전 전후의 동작파형    그림 7 조광에 따른 동작파형

또한, 실험 결과를 통하여 제어 IC 내부의 톨니파와 스위칭주파수 제어신호의 발생이 정상적으로 이루어지며 최대 100%에서 최소 2%까지의 조광되는 것을 확인하여 고성능의 전자식안정기 기능을 충분히 수행함을 알 수 있다.

#### 5. 결 론

본 논문에서는 자려식과 타려식 구동의 장점을 결합하여 새로운 혼합형 구동방식을 제안하고, 이에 적합한 제어 IC를 설계하여 필라멘트의 예열과 조광 등의 고기능을 수행하는 전자식안정기를 구현하였다. 기존의 타려식용의 제어 IC는 구동전력을 직접 공급해야 하므로 전류

공급능력이 크게 요구되며, 충분한 게이트 전압을 유지하기 위해서 IC의 내압 또한 높다. 혼합형 구동방식의 제어 IC는 값싼 5V CMOS 공정을 이용하여 설계하였으며, 보조권선을 단락시키기 위한 소신호 트랜지스터 베이스 전류를 1us 정도만 유지하면 되므로 수 mW 정도의 소모전력을 가진다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] W. J. Roche and H. W. Mike, "Fluorescent lamp starting aids how and why they work," J. Illuminating Engineering Society, pp. 29-37, Oct. 1974.
- [2] R. R. Verderber, O. C. Morse and F. M. Rubinstein, "Performance of electronic ballast and controls with 34- and 40-watt F40 fluorescent lamps," IEEE Trans. Industry Applications, vol.25, no. 6, pp. 1049-1059, Nov/Dec. 1989.
- [3] E. E. Hammer, "High frequency characteristics of fluorescent lamp up to 500kHz," J. Illuminating Engineering Society, pp. 52-61, Winter 1987.
- [4] Yong-Sik Youn, Tae-Ha Ryoo and Gyu-Hyeong Cho, "Fast switching gate driver for self-resonant inverters applicable to electronic ballasts," IEE Electronics Letters, vol.34, no. 9, pp. 826-828, 30th April 1998.
- [5] K. H. Jee, E. C. Nho and G. H. Cho, "High frequency resonant inverter for group dimming control of fluorescent lamp lighting systems," J. Illuminating Engineering Society, pp. 149-154, 1989.