

고효율 고역률 고주파 전자식 안정기

유완식\*, 문태환\*\*, 김희준\*\*, 조규민\*\*\*  
 \*특허청, \*\*한양대학교, \*\*\*유한대학

High Frequency Electronic Ballast with High Efficiency and High Power Factor

You Wan Sik\*, Moon Tae Hwan\*\*, Kim Hee Jun\*\*, Cho Kyu Min\*\*\*  
 \*KIPO, \*\*Hanyang University, \*\*\*Yuhan College

**Abstract** - This paper presents a high frequency electronic ballast with high efficiency and high power factor. The proposed ballast have driven by the half bridge inverter which is linked diode rectifier without DC link capacitor. Minimized elements of circuit configurations can make the efficiency of the ballast increase. High input power factor which is up to 0.96 can be achieved and the crest factor of lamp current waveforms is controlled with below 1.75 by using a novel control scheme which has PFM and PWM methods simultaneously. In this paper, the circuit configurations of the proposed ballast and the control schemes are described. The usefulness of the proposed ballast is confirmed with the simulation results.

1. 서 론

전력전자 분야의 기반을 구성해 주는 전력용 반도체 소자의 발달과 이들 소자의 스위칭 기술 및 전력제어 기술이 날로 발전함에 따라서 각종의 방전 램프용 안정기들이 전자식화 되고 있다. 이들 전자식 안정기는 자기식 안정기에 비하여 소형, 경량이기 때문에 취급이 용이하며 취부장소의 제약을 덜 받는다. 뿐만 아니라 자기식 안정기에 비하여 조광제어 등 램프 전력제어가 용이하며 비교적 높은 효율을 갖기 때문에, 에너지 절약이 절실히 요구되는 요즈음, 그 수요가 증가하고 있다. 그러나 전자식 안정기는 대부분 인버터를 이용한 고주파 구동 방식이기 때문에, 교류 입력전원을 직류전원으로 변환하는 정류부와 직류 에너지원이 되는 직류 링크부 및 직류링크의 에너지를 다시 교류로 변환하는 인버터부로 그 구성이 이루어진다. 즉 교류-직류 변환 및 직류-교류 변환의 2단계 전력변환이 요구되며, 이러한 단단계 전력변환은 에너지 변환효율의 측면에서 불리함을 갖게 된다. 따라서 소프트 스위칭 기술 등을 적용하여 회로의 손실을 최소화하는 것이 요구된다. 또한 다이오드 정류기와 직류단 커패시터만을 적용하여 교류-직류 변환을 하는 경우 전원 입력전류의 고조파 문제 및 저입력역률의 문제가 제기되기 때문에 최소한 수동 필터의 적용은 필수적이다. 이러한 전류 고조파 문제 및 저입력역률의 문제는 수동 필터와 능동 역률개선 회로를 함께 적용하는 경우 거의 완벽하게 해결할 수 있다. 그러나 이 경우는 교류-직류-직류 변환을 수행해야 하기 때문에 다소의 효율 감소와 더불어 부품증가에 따른 가격상승 및 안정기 체적의 증가가 단점으로 지적된다. 따라서 가격과 성능의 절충적인 측면에서 Valley Fill 방식 또는 Charge Pump 방식 등의 수동 역률개선 회로를 적용하는 경우가 많다.<sup>(1-6)</sup>

한편, 방전 램프용 안정기의 경우 램프의 점등방식이나 구동방식에 따라서 램프수명에 큰 영향을 주기 때문에 램프전류의 파고율을 지표로 안정기의 램프 구동방식

을 간접적으로 제한하고 있다. 자기식 안정기의 경우에는 상용 교류전원을 사용하여 램프에 수하특성을 유도함으로써 램프전력을 제어하기 때문에 램프수명에 영향을 주지 않지만, 전자식 안정기의 경우에는 그 회로구성 및 제어방식에 따라서는 램프수명에 악영향을 미칠 수도 있다. 따라서 전자식 안정기는 램프전류의 파고율이 최소한의 기준에 부합되도록 안정기를 운전하여야 한다. 결국 전자식 안정기는 입력단 특성 및 출력단 특성이 모두 기준에 적합하도록 적절한 회로구성 및 제어방법이 선택되어야 한다.

본 연구에서는 직류단 커패시터를 갖지 않는 다이오드 정류기만으로 교류-직류 변환을 수행하고, 맥류형태의 직류로부터 주파수와 펄스폭을 동시에 변조하는 방법에 의하여 제어되는 반브리지 공진형 인버터로써 직류-교류 변환을 수행하는 방식의 새로운 전자식 안정기를 제안한다. 제안하는 전자식 안정기는 최소화된 회로구성을 가지므로 저가격화, 소형화, 경량화, 고효율화가 더욱 용이하며, 제안한 주파수, 펄스폭 이중변조 스위칭 방법의 의하여 고입력역률 및 램프전류의 저파고율을 동시에 달성할 수 있다. 본 논문에서는 제안하는 전자식 안정기의 주회로 구성과 모드별 동작상태 및 스위칭 방법을 기술하였으며, 제안한 제어 알고리즘에 의한 모의실험 결과를 고찰하였다.

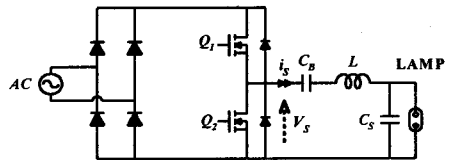
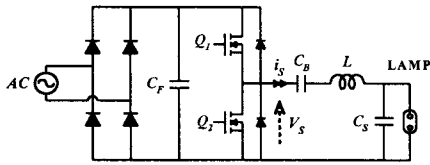


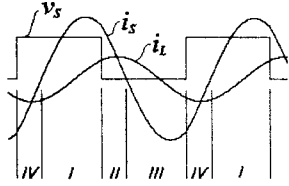
그림 1 주회로 구성  
 Fig. 1 Main circuit configurations

2. 주파수, 펄스폭 이중 변조 전자식 안정기

먼저 그림 1에 제안하는 전자식 안정기의 주회로를 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯, 제안하는 전자식 안정기는 다이오드 정류기와 공진형 반브리지 인버터로만 구성되기 때문에 전자식 안정기의 회로로는 더 이상 회로구성을 간단하게 할 수 없는 최소화된 주회로 구성을 가진다. 그러나 그림 1과 같은 회로구성은 직류단 커패시터가 없기 때문에 통상의 반 브리지 공진형 인버터와는 그 회로 동작 특성이 다르다. 즉, 그림 2에 도시한 바와 같이 직류단 커패시터가 있는 경우, 반브리지 인버터는 4개의 모드로써 회로동작이 이루어진다. 그 중 모드 IV는 부하단의 공진소자에 축적된 에너지가 직류단 커패시터로 회생되는 모드이다. 그러나 직류단 커패시터가 없는 경우에는 그림 2의 모드 IV와 같은 회로 동작은 불가능하게 된다. 따라서 제안하는 전자식 안정기는 그림 3에 도시한 바와 같이 3개의 회로 동작모드를 갖으며, 이에 따라 인버터의 출력도 직류단 커패시터가 있는 통상의 경우와는 다른 출력특성을 나타내게 된다.



(a) 회로구성



(b) 동작 모드

그림 2 일반적인 반브리지 공진형 인버터

Fig. 2 Conventional half bridge resonant inverter

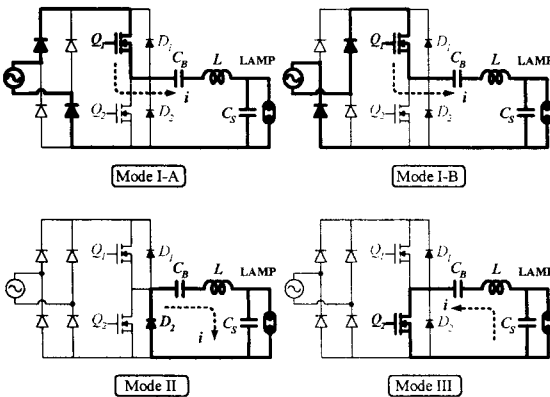


그림 3 주회로 동작 모드

Fig. 3 Modes of main circuit

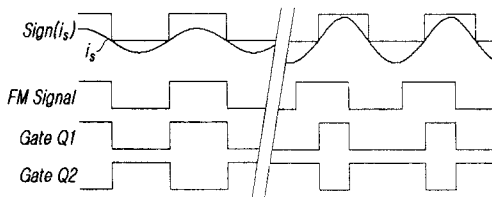


그림 4 스위칭 신호 발생 방법

Fig. 4 Switching signal generation method

그림 3에서, 모드 I-A와 모드 I-B는 전원전압의 극성에 따른 구분일 뿐이므로 인버터의 입장에서 동등한 모드이다. 그림에서 알 수 있듯, 제안하는 주회로는 전력공급 모드와 공진전류 극성에 따라 구분되는 부하회로 모드로만 동작할 뿐, 앞서 기술한 바와 같이 전력회생 모드는 존재하지 않는다. 따라서 그림 2의 모드 IV에 해당되는 구간에서도 제안하는 회로의 경우에는 모드 III이 지속되어야만 한다. 만일 모드 III인 동안  $Q_2$ 를 턴 오프하게 되면 음의 공진전류가 환류될 통로가 없으

므로  $Q_2$ 의 소손을 예견하기에 충분하다. 결과적으로 제안하는 주회로의 경우 공진전류가 음일 경우에는 인버터를 제어할 수 없고, 단지 공진전류가 양일 경우에만 인버터 출력을 제어할 수 있다. 따라서 제안하는 전자식 안정기의 경우 인버터 공진전류의 극성에 따라 스위치를 제어하여야 한다.

그림 4에 제안하는 전자식 안정기의 인버터 스위칭 신호 발생 방법도를 나타내었다. 제안하는 전자식 안정기의 경우 램프전류의 파고율 제어를 수행하기 위하여 입력전압의 크기에 따라 변조되는 주파수로 인버터를 운전한다. 따라서 주파수 변조신호와 인버터 출력단 전류의 극성의 논리합을 구하여 스위치  $Q_1$ 의 스위칭 신호로 사용하고,  $Q_2$ 는 이와 상보되는 신호로 스위칭을 행하면 주파수 변조와 더불어 자동으로 펄스폭이 변조되므로 이에 의하여 램프전력을 용이하게 제어할 수 있다.

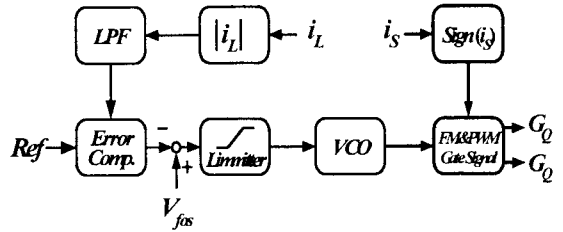


그림 5 제어 블록도

Fig. 5 Control block diagrams

그림 5는 제안하는 전자식 안정기의 제어블록도이다. 먼저, 램프전류를 검출하여 이를 정류하고 저역통과 필터를 이용하여 램프전류의 크기를 도출한다. 다음 램프의 정격전류에 상응하는 크기를 지령하여 오차 보상을 동작시킨다. 이 오차 보상기의 출력과 인버터의 기준 스위칭 주파수에 해당하는 전압  $V_{fos}$ 을 더한다. 그 다음 스위칭 주파수 범위를 일정 범위 이내로 제한하기 위하여 제한기를 거친 후 전압제어 발전기를 이용, 주파수 변조신호를 얻어낸다. 그 뒤 전술한 바와 같이 이 주파수 변조신호와 공진전류의 극성에 따라서 인버터를 스위칭하면 주파수 변조 및 전류 영점 기준의 펄스폭 변조의 이중 변조가 이루어진다. 이와 같이 주파수와 펄스폭을 동시에 변조하는 경우, 주파수 혹은 펄스폭 단일 변조를 수행하는 경우보다 더욱 용이하게 램프전류를 제어할 수 있다. 상기와 같은 기본적인 알고리즘을 수행해 주는 제어블록에 의하여 입력 전원전압의 크기에 따라 램프전류의 크기를 적절하게 제어할 경우 램프전류의 저파고율과 고입력역률을 동시에 달성할 수 있다.

### 3. 모의실험 결과 및 고찰

먼저 모의실험에 적용한 주요 정수는, 전원 입력전압은 110V이고  $C_B$ ,  $L$ ,  $C_S$ 는 각각 100nF, 200uH, 200nF이다. 또한 150W급 램프를 가상하여 그 등가 임피던스를 45Ω으로 설정하여 모의실험을 수행하였다.

그림 6은 모의실험 결과를 나타내는 파형으로, 각각 전원 입력전압파형, 정류기 입력단 전류파형, 필터 입력단 전류파형, 인버터 구동 주파수 변화 및 공진전류 반주기에 대한 펄스폭 듀티의 변화를 나타내는 것이다. 전원 입력전압의 크기가 작을 경우에는 인버터가 부하단의 고유공진 주파수 부근에서 동작하고 있음에도 불구하고 램프전류의 크기가 작을 수밖에 없다. 따라서 저전압 영역에서는 입력전압의 크기와 비례하여 램프 전류의 크기가 커지다가 입력전압의 크기가 일정 크기에 달하게 되면 램프전류 제어기에 의하여 주파수 변조신호가 가변되므로 스위칭 주파수 및 펄스폭이 제어되어 그림에 나타낸 바와 같이 램프전류가 평탄하게 제어됨을 알 수 있다.

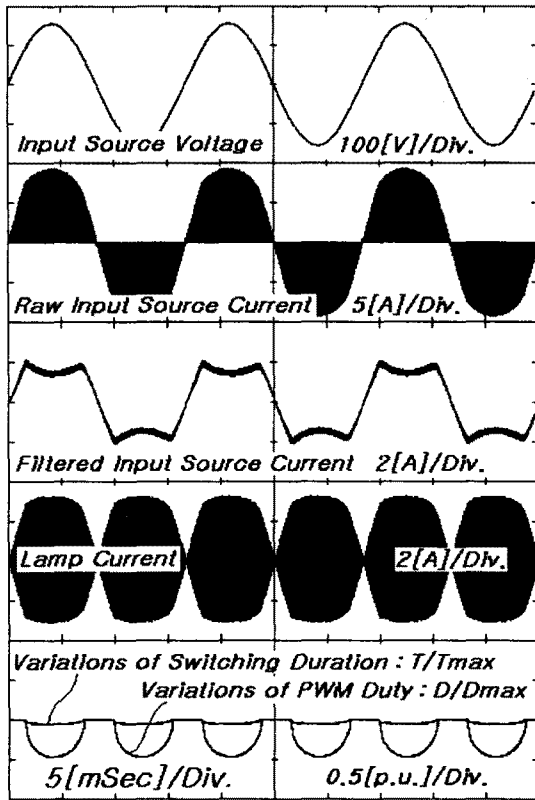
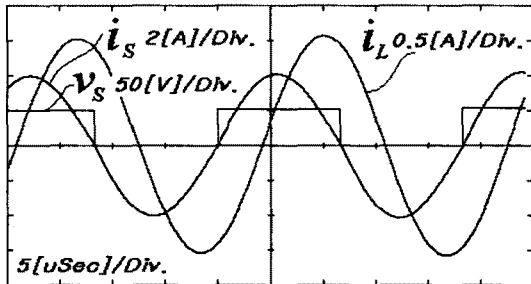
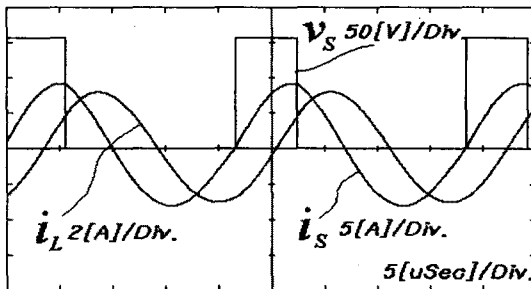


그림 6 모의 실험 결과 파형  
Fig. 6 Waveforms of the simulation results



(a) 저전압영역 시



(b) 고전압영역 시

그림 7 인버터 전압, 전류파형  
Fig. 7 Voltage and current waveforms of the inverter

한편, 고전압영역에서 램프전류를 평탄하게 제어할수록 램프전류의 파고율을 유지할 수 있다. 그러나 그 대신 입력역률이 그만큼 감소하게 되므로 램프전류의 평탄부를 적절하게 제어함으로써 램프전류의 저파고율과 고 입력역률을 동시에 만족시킬 수 있도록 해야 한다.

그림 6의 경우에는 램프전류의 파고율 약 1.736, 입력역률은 약 0.959로 운전되는 상태이다. 이는 고정 주파수 운전방식의 전자식 안정기에 비하여는 파고율이 비교적 높은 것에 해당하고, 직류단에 능동 역률개선 회로를 적용한 전자식 안정기에 비하여는 그 역률이 다소 낮은 편이다. 그러나 모의실험을 통하여 본 연구에서 제안한 방법으로 안정기를 구동할 경우 항상 1.75 이하의 램프전류 파고율과 0.95 이상의 입력역률을 유지할 수 있음을 확인할 수 있었으며, 형광등의 경우 국내 기준이 램프전류 파고율 1.85 이하, 입력역률 0.9 이상이므로 이 기준에는 충분히 적합한 특성을 가진다. 특히 본 논문에서 제안하는 안정기는 부가적인 회로를 사용하지 않고 최소화된 주회로 구성을 하고 있으며 단지 제안한 주파수, 펄스폭 이중 변조 제어에 의해서만 얻어낸 결과로서는 매우 우수한 것으로 평가된다.

그림 7은 저전압영역과 고전압영역에서의 인버터 출력 전압, 공진전류 및 램프전류 파형을 보여주는 것으로 제안한 스위칭 방법에 의하여 주파수와 듀티가 가변됨으로써 전력이 제어되고 있음을 확인할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 고효율, 고역률의 전자식 안정기로서 기존의 전자식 안정기와는 달리 직류단 커패시터가 없는 다이오드 정류기와 공진형 반브리지 인버터로만 주회로 구성이 이루어진 새로운 전자식 안정기를 제안하고, 주파수 및 펄스폭을 동시에 변조하는 주파수, 펄스폭 이중 변조 스위칭 방법을 제안하였으며, 모의실험 결과를 통하여 항상 램프전류 파고율을 1.75 이하로 제어할 수 있었으며 동시에 0.95 이상의 입력역률이 유지되었다.

제안하는 전자식 안정기는 주회로 구성이 전자식 안정기로서는 최소화된 회로구성을 하고 있기 때문에 저가격, 소형, 경량화가 타 전자식 안정기에 비하여 더욱 용이하고, 전력소비 요소가 최소화됨에 따라서 그 효율 또한 높은 것으로 기대된다.

추후 연구과제로는 각 종 램프정격별 주회로를 설계하고, 보다 우수한 특성을 가질 수 있도록 제어 알고리즘을 수정 보완하여 실제 실험을 수행한 결과로써 제안한 안정기의 특성을 검증하는 것 등이다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] 강범석, 김희준, "자외선 살균 램프용 고역률 전자식 안정기", 대한전기학회 하계학술대회 논문지, Vol.4, pp. 1202-1205, 2000.
- [2] Fengfeng Tao, Lee F.C, Onishi N., "A self-oscillating drive for single-stage charge-pump power-factor-correction electronic ballast with frequency modulation", Industry Applications Conference, 2000, Vol.5, pp. 3367-3373, 2000.
- [3] Joo-Ho Song, Dong-Yun Lee, Joong-Ho Song, Ju-Yeop Choi, Ick Choy, Kwang-Bae Kim, "Prediction of crest factor of electronic ballast for fluorescent lamp using pulse frequency modulation control" IECON '99 Proceeding, Vol.1 pp. 306-311 1999.
- [4] Wood, P.N., "Flourescent ballast design using passive PFC and crest factor control", Thirty-Third IAS Annual Meeting, Vol.3, pp. 2076-2081, 1998.
- [5] Alling, W.R., "Preserving lamp life using a low cost electronic ballast with compact fluorescent lamps, a new approach", Industry Applications Society Annual Meeting, Vol.3, pp. 2247-2253, 1993.