

고주파 전자식 안정기의 새로운 제어방법

오덕진*, 김희준*, 조규민**
한양대학교*, 유한대학**

A New Control Method for The High Frequency Electronic Ballast

Duk Jin Oh*, Hee Jun Kim*, Kyu Min Cho**
Hanyang University*, Yuhan College**

ABSTRACT

This paper presents a new control method for the high frequency electronic ballast which is operated with raw rectified dc link using diode bridge. For the commercial electronic ballast, proper ac input power factor and crest factor of the lamp current are required. The most ballast, therefore, has a active or passive power factor collection (PFC) circuit. With the proposed method, it can be achieved simultaneously that grater than 0.9 of input power factor and less than 1.85 of lamp current crest factor without any PFC circuit. In this paper, the proposed ballast control scheme and the experimental results for the application to the fluorescent lamp are described.

1. 서 론

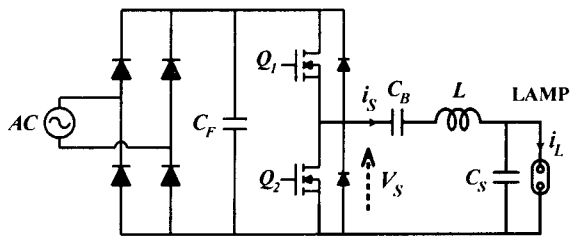
최근 전력전자 분야의 기반을 구성해 주는 전력용 반도체 소자의 발달과 이들 소자의 스위칭 기술 및 전력제어 기술이 날로 발전함에 따라서 각종의 방전 램프용 안정기들이 전자식화 되고 있다. 이들 전자식 안정기는 자기식 안정기에 비하여 소형, 경량이기 때문에 취급이 용이하며 취부 장소의 제약을 덜 받는다. 뿐만 아니라 자기식 안정기에 비하여 조광제어 등 램프 전력제어가 용이하며 비교적 높은 효율을 갖기 때문에, 에너지 절약이 절실히 요구되는 요즘 전자식 안정기의 수요는 급증하고 있는 현실이다. 그러나 전자식 안정기는 대부분 인버터를 이용한 고주파 구동 방식이기 때문에, 교류 입력전원을 직류전원으로 변환하는 정류부와 직류 에너지원이 되는 직류 링크부 및 직류링크의 에너지를 다시 교류로 변환하는 인버터부로 그 구

성이 이루어진다. 즉 교류-직류 변환 및 직류-교류 변환의 2단계 전력변환이 요구되며, 이러한 다단계 전력변환은 에너지 변환효율의 측면에 있어 불리함을 갖게 된다. 또한 다이오드 정류기와 직류단 커패시터만을 적용하여 교류-직류 변환을 하는 경우 전원 입력전류의 고조파 문제 및 저입력역률의 문제가 야기되기 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 부품 증가에 따른 가격상승 및 안정기의 중량과 체적 증가가 단점으로 지적된다. 따라서 가격과 성능의 절충적인 측면에서 Valley Fill 방식 또는 Charge Pump 방식 등의 수동 역률개선 회로를 적용하는 경우가 많다.^[1-4]

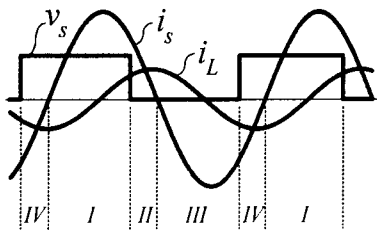
한편, 방전 램프용 안정기의 경우 램프의 점등방식이나 구동방식에 따라서 램프수명에 큰 영향을 주기 때문에 램프전류의 파고율을 지표로 안정기의 램프 구동방식을 간접적으로 제한하고 있다. 자기식 안정기의 경우에는 상용 교류전원을 사용, 안정기의 전압강하 특성을 이용하여 램프전력을 자동으로 제어하기 때문에 램프수명에 그다지 영향을 주지 않지만, 전자식 안정기의 경우에는 그 회로구성 및 제어방식에 따라서는 램프수명에 악영향을 미칠 수도 있다. 따라서 전자식 안정기는 램프전류의 파고율이 최소한의 기준에 부합되도록 안정기를 운전하여야 한다. 결국 전자식 안정기는 입력단 특성 및 출력단 특성이 모두 기준에 적합하도록 적절한 회로구성 및 제어방법이 선택되어야 한다.

본 연구에서는 직류단 커패시터를 사용하지 않고 다이오드 정류기만으로 교류-직류 변환을 수행하고, 맥류형태의 직류로부터 동작하는 반브리지 공진형 인버터로써 직류-교류 변환을 수행하는 방식

의 전자식 안정기의 새로운 제어방법을 제안한다. 제안하는 전자식 안정기는 최소화된 회로구성을 가지므로 저가격화, 소형화, 경량화, 고효율화가 더욱 용이하며, 제안한 안정기 제어 방법에 의하여 고입력역률 및 램프전류의 저과고율을 동시에 달성할 수 있다. 본 논문에서는 제안하는 전자식 안정기의 주회로 구성과 모드별 동작상태 및 스위칭 방법을 기술하였으며, 제안한 제어 알고리즘을 40W 형 광램프용 안정기에 적용한 실험결과에 대하여 고찰하였다.



(a) 주회로 구성

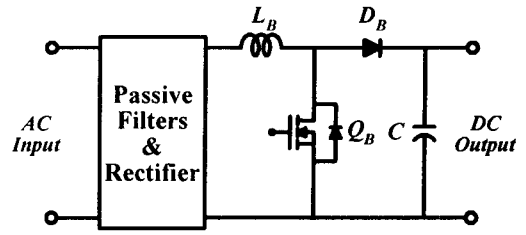


(b) 동작 모드

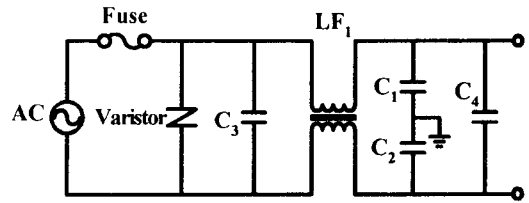
그림 1 안정기 주회로 구성 및 동작모드 일례

2. 일반적인 전자식 안정기

그림 1에 대부분의 고주파 전자식 안정기가 채용하고 있는 반 브리지 공진형 인버터 회로 구성 및 동작 모드를 표시하였다. 이 경우, 램프 전력의 제어는 인버터 구동 주파수의 변화를 통하여 이루어진다. 구동 주파수를 일정으로 유지하면서 램프 전력을 제어하기 위하여는 부하 환류 모드가 제공되는 풀브리지 인버터를 사용하여야 하며 통상, 위상편이 변조 (Phase Shift Modulation; PSM) 기법을 적용하여 인버터 출력 전압을 제어한다. 이와 같이 브리지 인버터를 사용하는 경우 직류 전원이 반드시 필요하다. 그러나 대부분의 안정기들이 교류전원으로부터 급전되기 때문에 안정기에 직류 전원을 공급하기 위한 컨버터 회로는 필수적이다. 컨버터부는 인버터에 안정적인 직류 전원을 공급함과 동시에 교류 입력단의 고조파 발생 혹은 저역률의 문제를 해결할 수 있는 기능을 갖추게 된다. 근래에는 그림 2에 나타낸 것과 같이, 안정된 인버터 동작을 위하여 전원 입력단역률을 거의 1로 유지함과



(a) 능동 PFC 회로를 적용한 컨버터



(b) 교류 입력단 라인 필터

그림 2 전원 라인 필터 및 컨버터 부 일례

동시에 직류 전압을 일정으로 제어할 수 있는 부스트 타입의 능동 PFC 회로를 적용하는 사례도 증가하고 있다. 그러나 이 경우 PFC 회로의 고주파 스위칭 성분의 전류가 전원 입력단에 나타나므로 그림 2의 (b)에 나타낸 것과 같은 고주파 전류 제거를 위한 라인필터의 적용이 필수적이다.

3. 전자식 안정기의 새로운 제어방법

먼저 그림 3에 제안하는 전자식 안정기의 주회로를 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯, 제안하는 전자식 안정기는 다이오드 정류기로만 구성된 맥류 링크 공진형 반브리지 인버터를 주회로로 채택하고 있다. 따라서 전자식 안정기의 회로로는 더 이상 회로구성을 간단하게 할 수 없는 최소화된 주회로 구성을 가진다. 이와 같은 맥류 링크 회로구성은 직류단 커패시터가 없기 때문에 통상의 반 브리지 공진형 인버터와는 그 회로 동작 특성이 다르다. 즉, 그림 1에 도시한 바와 같이 직류 링크 커패시터가 있는 경우의 반브리지 인버터는 4개의 모드로써 회로동작이 이루어진다. 그 중 모드 IV는 부하단의 공진소자에 축적된 에너지가 직류단 커패시터로 회생되는 모드이다. 그러나 직류단 커패시터가 없는 경우에는 이러한 모드의 회로 동작은 불가능하게 된다. 따라서 제안하는 전자식 안정기는 그림 4에 도시한 바와 같이 3개의 회로 동작모드를 갖으며, 이에 따라 인버터의 출력도 직류단 커패시터가 있는 통상의 경우와는 다른 출력특성을 나타내게 된다. 그림 4에서, 모드 I-A와 모드 I-B는 전원전압의 극성에 따른 구분일 뿐이므로 인버터의 입장에서는 동일한 모드이다. 그림에서 알 수 있듯, 제안하는 주회로는 전력공급 모드와 공진전류 극성에 따라 구분되는 부하환류 모드로만 동작할 뿐, 앞서 기술한 바와 같이 전력회생 모드는 존재하지 않는다.

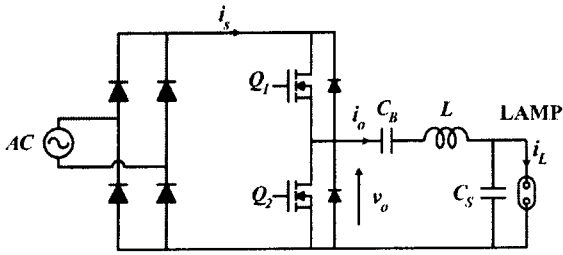


그림 3 맥류 링크 반브리지 공진형 인버터

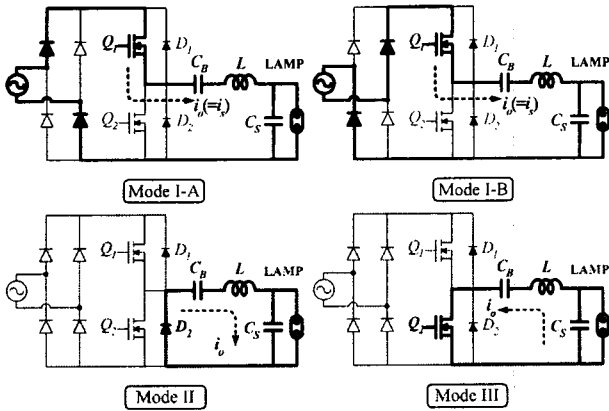


그림 4 모드별 회로 동작

따라서 그림 1의 모드 IV에 해당되는 구간에서도 제안하는 회로의 경우에는 모드 III이 지속되어야만 한다. 만일 모드 III 동안 스위치 Q_2 를 턴 오프하게 되면 음의 공진전류가 환류될 통로가 없으므로 전류의 단속과 더불어 스위치 Q_2 의 소손 등이 예견된다. 결과적으로 그림 3에 도시한 바와 같은 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.

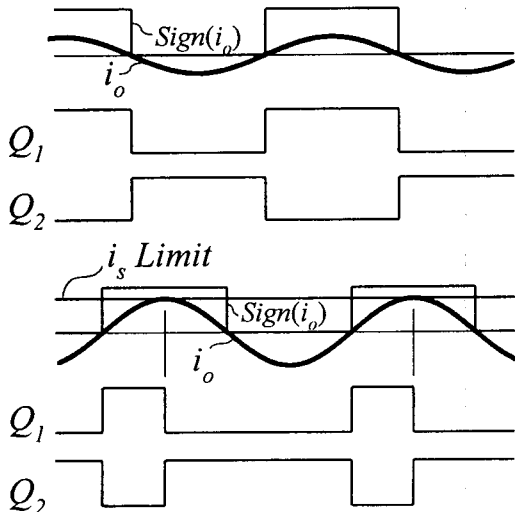


그림 5 제안하는 스위칭 방법

그림 5에 제안하는 전자식 안정기의 인버터 스위칭 신호 발생 방법을 도시하였다. 제안하는 안정기 제어 방법은 전원 입력 역률의 제어와 동시에 램프 전류의 파고율을 적정하게 유지하기 위하여 맥류단 전류의 크기를 제한하는 스위칭 방법이다.

먼저, 맥류단 전류의 크기가 작을 경우에 있어서는 부하 공진전류의 극성에 맞추어, 공진전류가 양일 경우에는 스위치 Q_1 을 공진전류가 음일 경우에는 Q_2 를 온함으로써 인버터 스위칭을 공진전류에 완전히 동기시킨다.

한편, 맥류단 전류의 크기가 미리 설정된 제한치에 이르게 되는 경우 스위치 Q_1 을 오프함과 동시에 Q_2 을 온함으로써 PWM에 의하여 공진 부하단으로 공급되는 전력을 제한한다.

이와 같이 본 논문에서 제안하는 방법에 의하여 스위칭을 행할 경우, 전원전압이 작을 경우에 있어서는 가능한 최대의 전력을 공진 부하단으로 공급하고 입력 전원전압의 크기가 클 경우에는 공급전력을 제한함으로써 램프전류의 파고율을 줄일 수 있다. 만일 맥류단 전류의 크기를 제한하지 않는 경우, 전원 입력역률은 높게 유지될 수 있으나 램프전류의 파고율이 증가하게 된다. 따라서 본 연구에서 제안하는 스위칭 방법은 적정한 수준으로 전원 입력역률을 제한하는 것으로써, 간접적으로 램프전류의 파고율을 적정 수준으로 유지하는 제어 방법이 된다.

4. 실험 결과 및 고찰

먼저 표 1에 모의실험 및 실험에 적용한 주요 시스템 정수를 나타내었다.

그림 6에 인버터 출력전압, 램프전압, 램프전류 파형을 나타내었다. 제안하는 안정기는 맥류 링크 반브리지 인버터를 채용하고 있기 때문에 통상의 경우와는 달리 인버터 출력전압의 크기가 그림에 나타난 것과 같이 전원전압이 정류한 형태로 변화하게 된다. 전원전압이 클 경우에는 전류제한에 스위칭에 의하여 인버터 출력전압은 PWM되나 그림 6의 경우에는 시간축이 길어 이에 대한 변화는 관측할 수가 없다. 그러나 전원전압의 크기가 큰 부분에서도 공진전류 크기가 일정하게 유지되는 것으로 미루어 제안한 제어방법이 잘 적용됨을 알 수 있으며, 이 경우 램프전류 파고율은 약 1.8로 계산되었다. 그림 6에서 공진전류 및 램프전류의 과도적인 현상은 형광등의 재점화 현상(re-ignition)현상이 있기 때문이다.

표 1 주요 시스템 정수

C_B	100[nF]	V_{ac}	117[V]
L	893[μ H]	Q_1, Q_2	IRF840
C_S	30[nF]	Lamp	FLR32SS

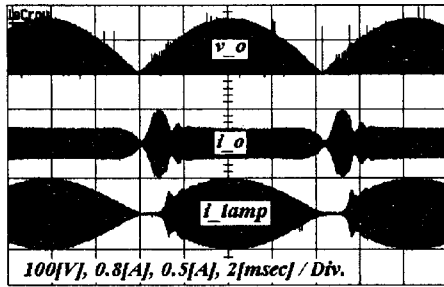


그림 6 인버터 출력전압, 공진전류 및 램프전류 (I)

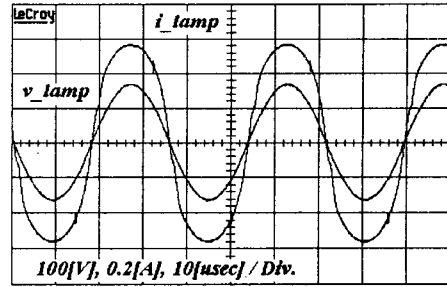
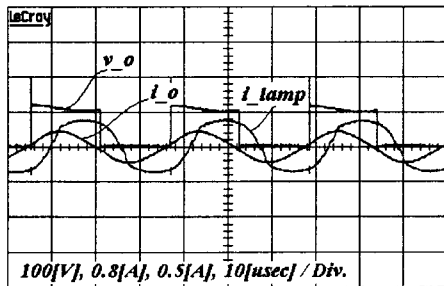


그림 8 램프전압 및 램프전류



(a) 저전압 영역시

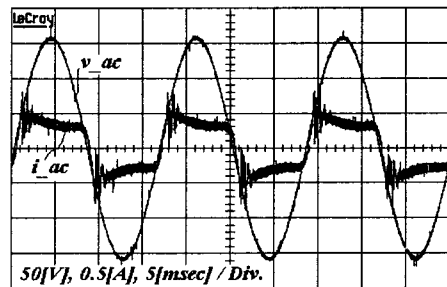
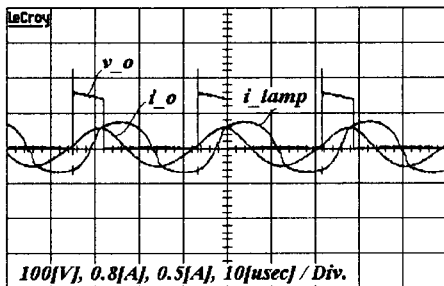


그림 9 입력전압 및 입력전류



(b) 고전압 영역시

그림 7 인버터 출력전압, 공진전류 및 램프전류 (II)

그림 7에 저전압 영역 및 고전압 영역에서의 인버터 출력전압, 부하 공진전류 및 램프전류 파형을 확대하여 나타내었다. 고전압 영역에서는 전류제한에 의하여 인버터 출력 전압의 폭이 감소됨을 알 수 있다. 이 때, 부하 공진전류 파형이 다소 정부 비대칭이 되고 그 주기 또한 서로 다름을 볼 수 있으나 공진회로의 블로킹 커패시터에 의하여 이 요소는 제거되므로, 램프전류 파형에는 이러한 비대칭이 나타나지 않는다. 따라서 본 논문에서 제안한 바와 같이 고주파 전자식 안정기의 경우에 있어서는 반브리지 공진형 인버터를 PWM에 의하여 그 전력을 제어하는 것도 가능함을 알 수 있다.

그림 8과 9는 각각 램프단과 전원 입력단의 전압, 전류파형을 보여주는 것이다. 램프의 부하 특성으로 인하여 전압파형이 정현파임에도 전류파형이 구형파에 가까운 형상을 유지하고 있음을 볼 수 있는데, 이는 램프전류의 파고율을 측면에 있어서는 오히려 유리한 점이 된다. 한편, 전원 입력단 전류파형은 라인필터에 의하여 고주파 성분의 전류가 필터링 된 것으로 그림의 경우 입력역률이 0.9로 유지되고 있는 상태이다.

5. 결 론

본 논문에서는 직류단에 커패시터를 사용하지 않는 맥류 링크로부터 급전되는 공진형 반브리지 인버터를 고주파 전자식 안정기 주회로로 적용하여, 입력역률 및 램프전류 파고율을 적절하게 유지할 수 있는 새로운 고주파 전자식 안정기의 제어 방법을 제안하였다. 형광등에 적용한 실험결과로써 입력역률 0.9, 램프전류 파고율 1.8의 결과를 얻음으로써 상용 안정기로서의 가능성을 제시하였다. 추후 연구과제로는 램프의 재점화 현상을 감소시킬 수 있도록 제어 알고리즘을 보완하는 것 등이다.

참 고 문 헌

- [1] 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, Vol. 5, pp. 3367-3373, 2000.
- [2] 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 Proceeding, Vol. 1 pp. 306-311, 1999.
- [3] Wood, P.N., "Flourescent ballast design using passive PFC and crest factor control", Thirty-Third IAS Annual Meeting, Vol. 3, pp. 2076-2081, 1998.
- [4] 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.