

입력전류 파형 개선효과를 갖는 전자식 안정기에 관한 연구

허태원, 손영대**, 우정인*
 동아대학교*, 동서대학교**

A Study on Electronic Ballast with Improved Input Current Waveform

*Tae-Won Heo**, Young-Dae Son*, Jung-In Woo**
 Dong-A University*, Dongseo University**

Abstract - In this paper, electronic ballast with Interleaved Boost Cell is presented. The proposed topology is based on a single-stage ballast which combines a boost converter and a half-bridge series resonant inverter. High power factor and low THD(reduction of current ripple) are achieved by using the boost semi-stage operating in discontinuous conduction mode, and inverter semi-stage operated above resonant frequency to provide zero voltage switching is employed to ballast the fluorescent lamp. The experimental results from the ballast system with fluorescent lamps have demonstrated the feasibility of the proposed electronic ballast.

1. 서 론

전자식 안정기는 상용교류 주파수로 형광램프를 점등시키는 종래의 경우에 비해 발광효율이 높고, 깜박거림이 없으며, 소형·경량화에 있어서도 유리하기 때문에 대부분의 형광램프 전원회로로 채택되고 있다. 이러한 전자식 안정기는 형광램프에 인가하는 수십 kHz의 정현파 교류전압을 생성하는 Half-Bridge 인버터와 역률 개선 및 인버터의 DC 입력전압을 생성하는 기능을 갖는 컨버터로 구성된다[1,2].

최근들어 역률과 THD에 대한 각종 규제가 강화되면서 전자식 안정기의 역률보상에 관한 연구가 다수 이루어지고 있다. 역률보상회로는 수동필터나 능동 전력필터로 구성될 수 있으나, 이 두 방법은 대형·대용량으로서 소형·경량화를 위한 전자식 안정기에는 적절하지 않으며, MOSFET와 같은 스위칭소자를 사용한 Boost 컨버터회로가 주로 이용된다. 그러나, Boost 컨버터를 불연속 전류모드로 동작시키면 제어회로는 간단하지만 입력전류의 리플이 크고, 연속 전류모드로 동작시키는 경우 전류리플은 개선할 수 있으나 상대적으로 제어회로가 복잡해지는 단점이 있다[3].

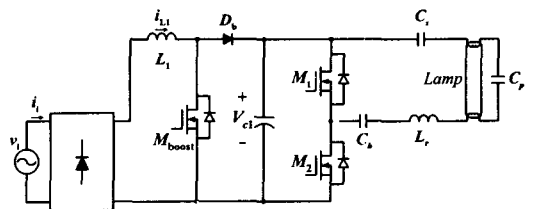
따라서, 본 논문에서는 전자식 안정기 역률보상의 인덕터 전류를 불연속 전류모드로 동작시키면서 입력전류 파형 개선을 위해 역률 개선용 Interleaved Boost 컨버터회로[4]를 적용한다. 제안하는 회로는 추가된 Interleaved Boost Cell에 의해 입력전류가 두 개의 인덕터 전류를 통해 50%씩 분할되어 흐르기 때문에 각 인덕터 전류가 불연속적으로 흐르더라도 전체 전류 파형을 연속이 되어 전류리플과 고조파를 효과적으로 저감시킬 수 있다. 즉, 불연속 전류모드의 장점을 취하면서 전류파형을 동시에 개선할 수 있다. 제안한 방식의 타당성을 실험을 통해 종래에 제안했던 방식과 비교하여 입증하고자 한다.

2. 본 론

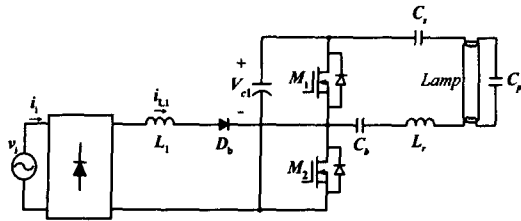
2.1 회로구성

그림 1은 역률보상단(PFC)과 램프 구동 인버터단을 결합한 전자식 안정기의 회로도를 나타낸다. 그림 1(a)는 기존의 일반적인 형태의 안정기 회로로서 M_{boost} 의 역률보상단과 M_1 과 M_2 의 Half Bridge 인버터단으로 구성된다. 그림 1(b)는 기존의 안정기의 각 단에서 동작하던 2개의 스위치 M_{boost} 와 M_2 는 공유되어 하나의 스위치 M_2 로 합병되어 동작하게 된다. 결국 그림 1(b)와 같은 일단계 전자식 안정기(Single-stage ballast : SSB)를 구성하게 된다[5]. 즉, 2개의 전력 처리단이 직렬로 연결된 종래의 안정기에서 스위치들을 공유하여 동작시킨 구성이다. 역률보상단은 불연속 전류모드(DCM)에서 동작하는 부스터 컨버터로 구성되는데, 이는 저항기 에뮬레이터(Resistor Emulator : RE)의 성질을 가지므로 듀티비와 스위칭 주파수가 일정할 때 입력전류의 평균값은 자동적으로 정현 선전압 파형을 따르게 되고 교류입력측의 고역률을 보증하게 된다. 역률보상단은 불연속 전류모드에서 동작하는 부스터 컨버터로 구성되는데 듀티비와 스위칭 주파수가 일정할 때 입력전류의 평균값은 자동적으로 정현 선전압 파형을 따르게 되고 교류입력측의 고역률로 동작한다. 또한, 이 안정기 회로형태에서 HB PLSRI는 램프구동을 담당한다. 그러므로, 공유 후의 스위치 M_2 는 부스트단(boost semi-stage)뿐만 아니라 HB PLSRI단(PLSRI semi-stage)에도 속하는 소자가 된다.

그림 1(C)는 본 논문에서 제안하는 방식으로 종래에 저자가 제안했던 전자식 안정기 SSB 회로(그림 1(b))의 장점을 취하도록 하고, 입력전류의 리플을 개선할 수 있도록 하기 위하여 절점 A, B, C에 Interleaved Boost Cell을 추가하였다. 진하게 표시된 부분은 추가된 회로를 나타낸다.



(a) 기존의 안정기 회로



(b) 종래의 SSB 안정기 회로

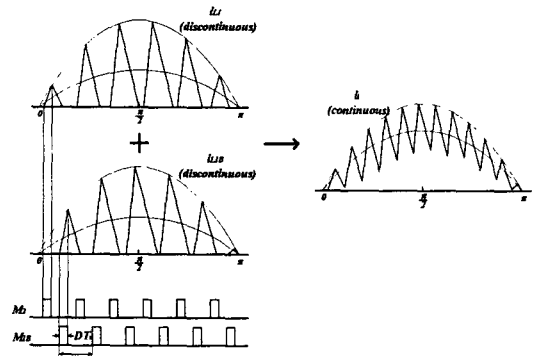
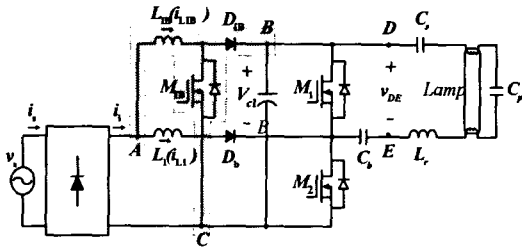


그림 2. 불연속 전류모드에서의 입력전류 합성



(c) Interleaved Boost Cell이 추가된 안정기 회로
그림 1. 형광램프용 전자식 안정기 회로

2.2 동작원리

Interleaved Boost Cell을 구성하는 회로정수가 L_1 , D_b , M_2 와 각각 동일하다고 가정하면 이상적으로 추가된 cell과 기존의 M_2 를 비롯한 L_1 , D_b 로 구성된 불연속 동작 역률보상단은 각각 50%의 전력분담 효과를 나타내게 된다. 그러기 위해 Interleaved Boost cell의 M_{IB} 는 M_2 와 180°의 위상차를 가지고 스위칭 되어야 한다. 기존의 M_1 과 M_2 는 180°의 위상차를 가지고 스위칭 되기 때문에 M_{IB} 는 M_1 과 동일한 스위칭 신호로서 동시에 턴-온 및 턴-오프 된다. 그러므로, 스위치 M_{IB} 의 추가로 인한 추가적인 스위칭 패턴 발생부가 필요없다.

그림 1(b)의 Interleaved Boost Cell이 삽입된 안정기의 회로구성에 의해 입력전류 i_s 는 두 인덕터에 흐르는 전류 i_{L1} 과 i_{LIB} 의 합성으로 나타난다. 따라서, 그림 2와 같이 각각을 불연속 전류모드로 동작시키더라도 전체 입력전류는 연속으로 나타나게 된다. 그러므로, 불연속 동작으로 인한 입력전류의 리플분을 상당부분 감소시킬 수 있으며, 아울러 THD 개선효과를 얻을 수 있다.

또한, 역률보상단을 불연속 전류모드로 동작시키면 전류제어를 하지 않고, 전압 제어만으로도 입력 전류가 정현파형으로 나타나게 된다. 따라서, 제안한 안정기 회로는 전압 제어 루프만으로 제어계를 구성하여도 연속적인 입력 전류를 얻을 수 있게 된다.

그림 3은 제안한 안정기 회로의 각부 동작파형을 보인 것이며, 스위칭 주파수 f_s 가 공진주파수 f_r 보다 큰 경우이다. 게이트 구동신호의 음영부분은 신호가 존재할 수 있는 허용구간 즉, 스위치 전류가 음인 구간 동안에 턴온되어야 함을 나타내며, 게이트 구동신호 v_{GS1} 과 v_{GS2} 는 서로 충분한 데드타임(그림 3에는 나타내지 않음)을 가지는 것으로 가정한다.

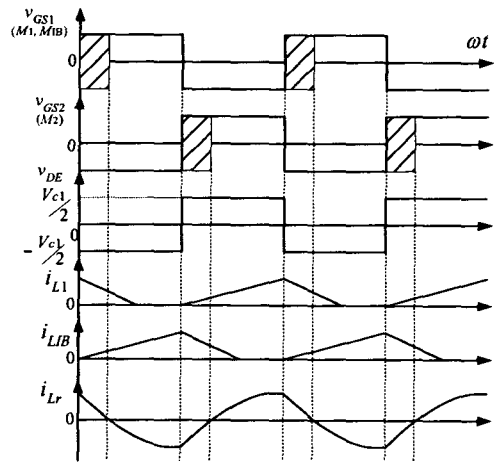


그림 3. 각부 파형

3. 실험결과 및 고찰

종래에 제안했던 전자식 안정기 SSB 회로의 장점을 취하면서 입력전류의 리플을 개선할 수 있도록 하기 위한 방법으로, 본 논문에서 제안한 Interleaved Boost cell이 추가된 안정기 회로의 타당성을 실험을 통하여 검토하였다. 종래에 제안했던 방식과 본 논문에서 제안하는 방식을 비교 검토하여 보았다.

그림 4와 5는 정류기와 인덕터 사이에 흐르는 전류로서 종래 회로의 인덕터 전류 i_{L1} 그리고 제안한 회로의 입력전류 i_s 를 나타낸다. 그림 4는 역률 보상단이 불연속으로 동작하는 파형을 확인할 수 있다. 그림 5에서는 두 인덕터를 통해 각각 불연속 전류가 흐르지만 전체 합성은 연속으로 나타남을 확인할 수 있다. 아울러 리플이 감소함을 알 수 있다.

그림 6은 정류기 앞단의 전원측 전류 i_s 및 전압 v_s 파형으로서 동상으로 나타남을 알 수 있다.

그림 7은 인버터 출력측 공진전류 i_{Lr} 과 램프 전압을 나타낸다.

그림 8과 9는 전원측 전류 스펙트럼을 나타낸다. 그리고, 표 1에서 차수별 고조파 성분을 비교하였다. 제안한 방식이 3, 5, 7차의 저차 영역에서 고조파가 적게 발생함을 알 수 있다. 아울러, THD도 제안한 방식이 약 4.2%정도 감소함을 알 수 있었다.

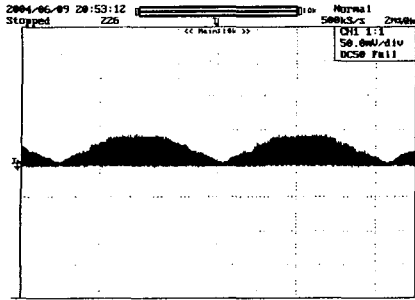


그림 4 종래의 SSB안정기 회로의 인덕터 전류

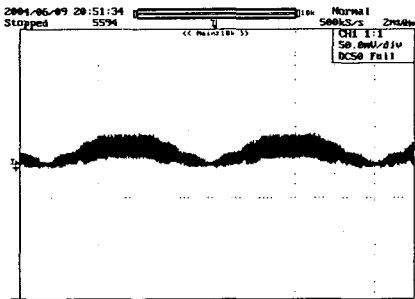


그림 5 제안한 안정기 회로의 입력전류 i_i

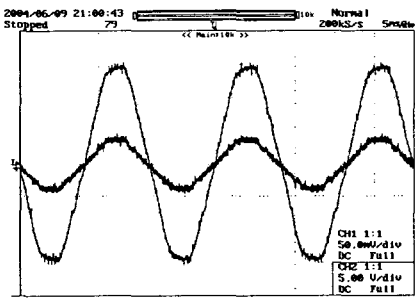


그림 6 제안한 안정기 회로의 전원측 전류 및 전압

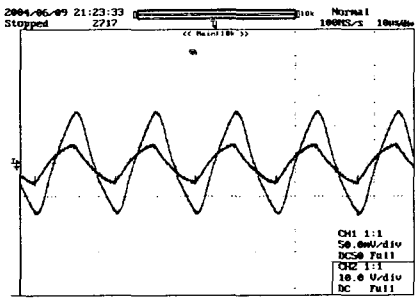


그림 7 제안한 안정기 회로의 공진전류 및 램프전압

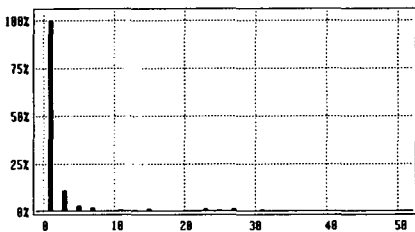


그림 8 종래의 SSB안정기 회로의 전원전류 스펙트럼

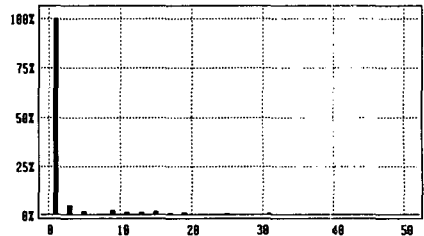


그림 9 제안한 안정기 회로의 전원전류 스펙트럼

표 1 차수별 고조파 분석

차수	THD	종래 방식 (12.1%)	제안한 방식 (7.9%)
3차		10.85	5.25
5차		3.3	2.4
7차		2.48	0.98
9차		1.15	2.8
11차		1.05	1.42
13차		1.18	2.15
15차		1.94	2.05

4. 결 론

본 논문에서는 부스터 컨버터와 병렬부하 직렬공진 인버터를 결합한 안정기를 제시하였다. 종래의 이단계 안정기 각단에서 독립적으로 동작하던 스위치들이 결합하여 구성된 안정기에 Interleaved Boost Cell을 추가하여 실험을 통해 안정기의 기본 동작특성을 검토하였다.

제안한 방식은 입력측 각 인덕터에 흐르는 불연속 전류가 합성되어 흐르기 때문에 전체 전류 파형은 연속으로서 리플이 저감되었으며, 이와 관련하여 고조파를 분석한 결과 7.9% 정도의 낮은 THD와 저차고조파의 감소를 확인 할 수 있었다. 이것은 적은 비용으로 고성능을 얻기 위한 간단하고 효과적인 방법이고 시스템의 크기를 줄일 수 있다.

본 연구에서 제안된 방법은 향후 새로운 안정기의 개발에 유용할 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김능수 & 이상국, 최근 방전등 안정기의 기술현황, KINITI, 조사연구보고 1호(BW-1), 1992.
- [2] R.L.Steigerwald, "A Comparison of Half-Bridge Resonant Converter Topologies", *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol.3, No.2, pp.174~182, April 1988.
- [3] J.L.Freitas Vieira, M.A.Co and L.D.Zorzal, "High Power Factor Electronic Ballast Based on a Single Power Processing Stage", *IEEE PESC'95*, pp.687~693, 1995.
- [4] 허태원 외, "2단 역률보상회로를 구성하는 Interleaved 승압형 컨버터의 해석 및 설계", 대한전기학회 논문지, 제52B권, 제7호, 2003.
- [5] 김종길 & 손영대, "컴팩터 형광램프용 일단계 전자식 안정기의 해석 및 설계", 대한전기학회 논문지, 제49B권, 6호, pp.441~449, 2000.