

동기 정류기를 이용한 고효율 역률보상형 AC/DC 컨버터

이 상 훈, 박 한 응*, 김 광 태**, 김 철 우

부산대학교, 해군사관학교*, 부산정보대학**

High Efficiency PFC AC/DC Converter with Synchronous Rectifier

SANG-HUN LEE, HAN-WOONG PARK*, KWANG-TAI KIM**, CHUL-U KIM
Pusan National University, Naval Academy*, Pusan Info-Tech Collage**

ABSTRACT

This paper presents a novel single-stage unity power factor converter, which features the reduced switching losses by zero-voltage switching and zero-current switching (ZVZCS). Hence, the turn-on and turn-off losses of switches are sufficiently reduced. And the reduced conduction losses are achieved by the elimination of one leg of front-end rectifier. And low on-resistance MOSFETs (Synchronous Rectifier) are used in the rectifier at the secondary side of high frequency transformer instead of diodes. Theoretical analysis, simulated results of a AC to DC 150W(5V, 30A) converter are presented.

1. 서 론

최근, 유럽 표준 IEC 1000-3-2 등과 같은 고조파에 대한 각종 국제규제의 강화로 고조파 저감과 역률보상 회로에 대한 관심이 증대됨에 따라 중저급(Low to Medium Power) 오프 라인(Off-line) 전력변환장치를 개발하는 데 있어서는, 단위 역률을 위한 역률보상(PFC)회로의 채용이 거의 일반화 되어가고 있다^[1].

일반적인 역률보상형 컨버터의 경우, AC를 DC로 변환시키기 위하여 브릿지(Bridge) 정류 다이오드가 컨버터의 입력단에 포함되어 있다. 그러므로, 이와 같은 형태의 컨버터는 전류의 흐름상에 항상 세 개의 반도체 소자가 존재하게 된다. 이로 인하여 세 번의 도통손실이 발생하게 된다. 또한, 스위칭시 전압과 전류가 오버랩(Overlap)되는 현상이 있으면 많은 스위칭 손실이 발생하며, 시스템의 소

형·경량화를 위하여 스위칭 주파수를 고주파로 할 경우 이 문제는 더욱 심각해진다.

그래서, 이와 같은 스위칭 손실을 저감하기 위하여 많은 회로들이 연구되었다^[2-3]. 또한, 도통 손실을 저감하기 위한 회로도 많이 제안되어 왔다^[4-6].

그러나, 이 회로들은 보조 회로를 사용하여 스위칭 손실을 저감하였는데, 이 보조 회로들은 부가적인 능동 스위치, 변압기, 그리고, 그것을 위한 제어 회로가 필요하여 회로가 복잡하다^[4]. 또한, 다른 경우도 마찬가지로 부가적인 능동 소자는 없지만 준공진(QRC; Quasi Resonant Circuit)회로를 추가하여 소프트 스위칭을 달성하였다^[5].

그리고, 출력 전압이 5V 또는 3.3V 정도로 낮을 경우, 고주파 트랜스포머 2차측에 정류를 위하여 다이오드를 사용한다면, 다이오드에는 오프-셋 전압이 존재하므로 효율이 나빠진다. 따라서, 온-저항이 작은 MOSFET를 사용하여 손실을 줄여 효율을 향상시킬 수 있다^[7].

본 논문에서는 고효율·고역률을 달성하기 위하여 복잡하지 않은 새로운 회로를 제안한다. 제안하는 회로에서는 동작하는데 필요한 소자의 개수를 줄이고 동기 정류기를 사용하여 도통 손실을 저감한다. 또한, 부가적인 보조 회로를 사용하지 않고 소프트 스위칭을 하여 스위칭 손실을 저감한다.

2. 본 론

2.1 기존의 동기 정류기를 이용한 PFC 컨버터

그림 1은 기존의 2단 방식의 동기 정류기를 이용한 역률보상형 컨버터를 나타내고 있다. 여기에서는 역률 보상을 위한 앞단과 일정 전압을 제어하기 위한 뒷단으로 구성되므로 시스템의 부피도 커지고, 가격도 상승하게 된다. 따라서, 저 전압·저 전력이 사용되는 분야에서는 적절하지 못하다.

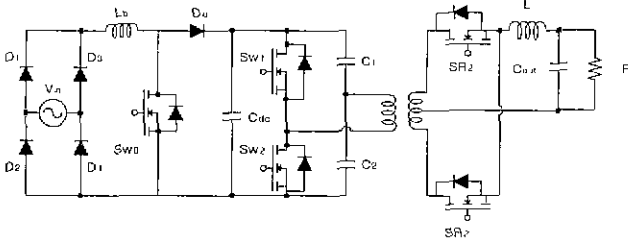


그림 1. 기존의 동기 정류기를 이용한 역률보상형 컨버터 (2단 방식)

2.2 새로운 동기 정류기를 이용한 PFC 컨버터

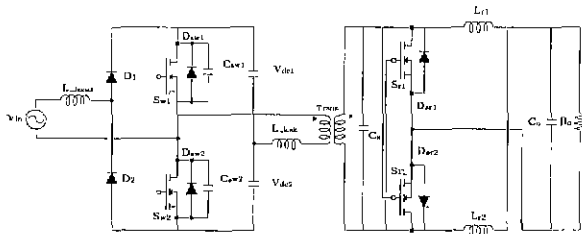


그림 2. 제안하는 동기 정류기를 이용한 PFC 컨버터

본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위하여 그림 2와 같은 1단 방식의 역률 보상형 컨버터를 제안한다. 본 회로의 장점은 부가적인 회로를 사용하지 않고, 스너버용 외부 커패시터와 고주파 트랜스포머의 누설 인덕턴스 성분의 공진 현상을 이용하여 소프트 스위칭을 달성한다는 것이다. 그리고, 입력단 정류용 다이오드의 한 레그(Leg)를 능동 스위치로 바꾸어 교류 입력을 정류하는 기능과 DC-DC 컨버터에서의 스위치 기능을 함께 하게 하여 사용되는 스위치의 개수를 저감하였다. 이로 인하여, 전류의 흐름상에 존재하는 스위치의 개수는 항상 두 개가 되어 도통 손실을 저감할 수 있다. 또한, 고주파 트랜스포머 2차측에는 온-저항이 작은 MOSFET를 사용하여 다이오드를 사용할 때 발생하는 도통손실을 방지할 수 있으며, 간단한 1단 방식의 구성으로 전체 시스템을 소형·경량화 할 수 있다.

2.3 동작 모드

그림 3은 각 동작 모드에서의 스위치 전압 및 전류, 승압용 인덕터의 전류, 스너버용 커패시터에서의 전압, 동기 정류기의 게이트와 소스간의 전압, 출력 인덕터의 전류, 및 제어신호의 파형 등을 나타내고 있다. 그리고, 본 논문에서 제안하는 회로를 입력전압의 반주기에 대하여 아홉 개의 스위칭 모드로 구분하고, 각 모드별 분석을 통하여 소프트 스위칭이 달성됨을 확인한다. 그림 4는 각 모드별

회로도를 보여주고 있다.

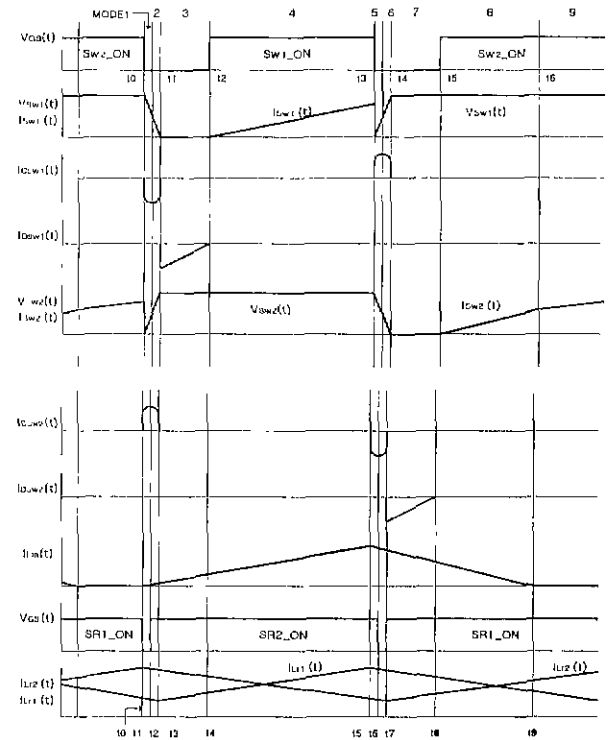


그림 3. 각 동작 모드별 주요 파형

Mode I ($t_0 < t \leq t_1$): 이 모드가 시작하는 시점(t_0)에서 승압용 인덕터(L_{boost})에 흐르는 전류는 영(zero)으로부터 선형적으로 증가한다. 그리고, 스위치 Sw_2 은 턴-오프(turn-off)된다. 따라서, 스위치 Sw_1 과 Sw_2 는 오프(off) 상태이다. 그리고, 스너버용 커패시터 C_{sw2} 의 전압은 고주파 트랜스포머의 누설 인덕턴스 성분과 공진을 하면서 영(zero)으로부터 상승하기 시작하고, 반대로 C_{sw1} 의 전압은 같은 형태로 감소하기 시작한다. 그리고, 트랜스포머 이차측 전압에 의하여 동기 정류기, $Sr1$ 이 턴 온(turn-on)된다

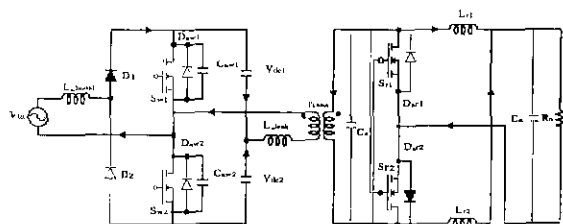


그림 4.1 Mode I

Mode II ($t_1 < t \leq t_2$): 이 순간에는 트랜스포머 이차측은 Mode I 상태를 유지하고, 이차측은 $Sr1$ 이 턴-오프되면서, 다이오드를 통하여 환류하는 구간이다.

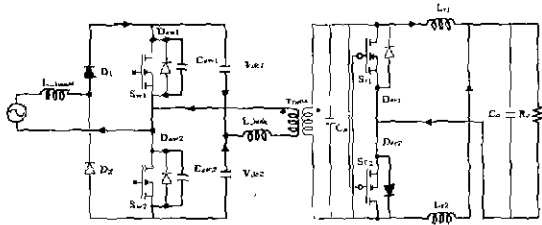


그림 4.2 Mode II

Mode III ($t_2 < t \leq t_3$): 이 주기 동안에는, 스위치 S_{w1} 과 S_{w2} 는 계속해서 오프(off) 상태를 유지한다. 그리고, 고주파 트랜스포머의 누설 인덕터에 충전된 에너지는 스위치 S_{w1} 의 역병렬 다이오드를 통하여 방출된다. 그러므로, 이 주기의 마지막 시점(t_3)에서 스위치 S_{w1} 의 소프트 스위칭이 이루어진다. 그리고, S_{r2} 가 턴-온된다.

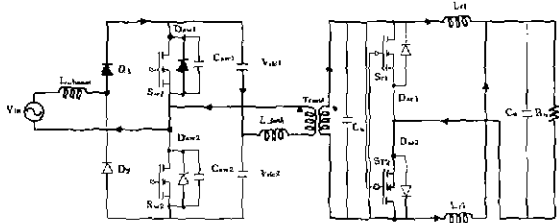


그림 4.3 Mode III

Mode IV ($t_3 < t \leq t_4$): 이 시점(t_3)에서, S_{w1} 는 턴-온(turn-on)된다. 그래서, 스위치 S_{w1} 을 통하여 흐르는 전류는 영(zero)으로부터 선형적으로 증가한다. 그리고, 이 모드가 끝날 때까지, 입력 전류 I_{Lboost} 는 증가한다.

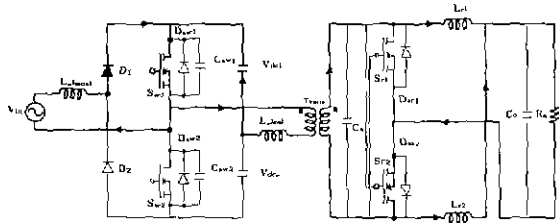


그림 4.4 Mode IV

Mode V ($t_4 < t \leq t_5$): t_4 의 순간에서, 스위치 S_{w1} 은 턴-오프(turn-off)가 된다. 그리고, 입력 전류 I_{Lboost} 는 감소하기 시작한다. 스너비용 커패시터 C_{sw1} 의 전압은 고주파 트랜스포머의 누설 인덕턴스 성분과 공진을 하면서 영(zero)으로부터 증가하기 시작하고, 반대로 C_{sw2} 의 전압은 같은 형태로 감소하기 시작한다. 그래서, 이 시점(t_4)에서 스위치 S_{w1} 의 소프트 스위칭이 확보된다. 이 모드의 끝에서 S_{r2} 가 턴-오프된다.

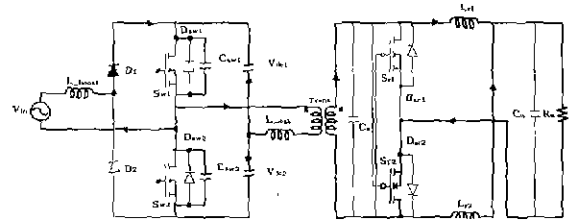


그림 4.5 Mode V

Mode VI ($t_5 < t \leq t_6$): 이 순간에는 트랜스포머 일차측은 Mode V 상태를 유지하고, 이차측은 S_{r2} 가 턴-오프되면서, 다이오드를 통하여 환류한다.

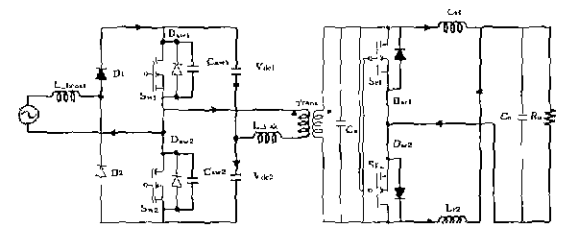


그림 4.6 Mode VI

Mode VII ($t_6 < t \leq t_7$): t_6 의 순간에 스위치 S_{w1} 과 S_{w2} 는 계속해서 오프(off) 상태를 유지한다. 그리고, 고주파 트랜스포머의 누설 인덕터에 충전된 에너지는 스위치 S_{w2} 의 역병렬 다이오드를 통하여 방출된다. 그러므로, 이 주기의 마지막 시점(t_7)에서 스위치 S_{w2} 의 소프트 스위칭이 이루어진다. 그리고, S_{r1} 이 턴-온된다.

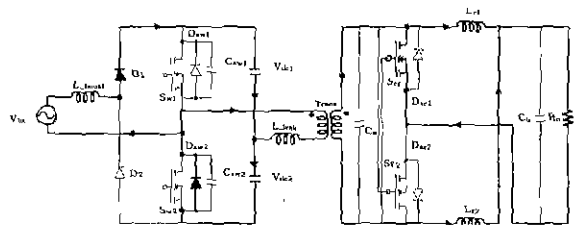


그림 4.7 Mode VII

Mode VIII ($t_7 < t \leq t_8$): 이 시점(t_7)에서, S_{w2} 는 턴-온(turn-on)된다. 그래서, 스위치 S_{w2} 을 통하여 흐르는 전류는 영(zero)으로부터 선형적으로 증가한다. 그리고, 이 모드가 끝날 때 입력 전류 I_{Lboost} 는 영(zero)가 된다.

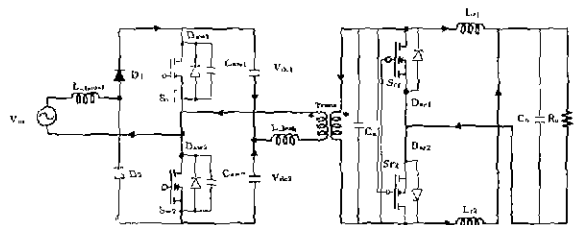


그림 4.8 Mode VIII

Mode IX ($t_8 < t \leq t_9$): 이 주기동안에는, 스위치 S_{w2} 는 턴-온(turn-on)을 유지한다. 그리고, 입력 전류 I_{Lboost} 도 계속 영(zero) 상태를 유지한다.

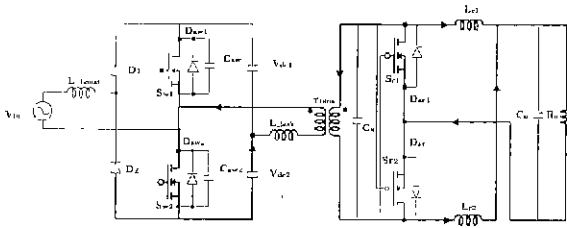


그림 4.9 Mode IX

2.4 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안하는 동기 정류기를 이용한 역률보상형 컨버터(교류입력 100V, 출력 150W)를 Pspice로 시뮬레이션하여 제안한 회로의 타당성을 검토한다.

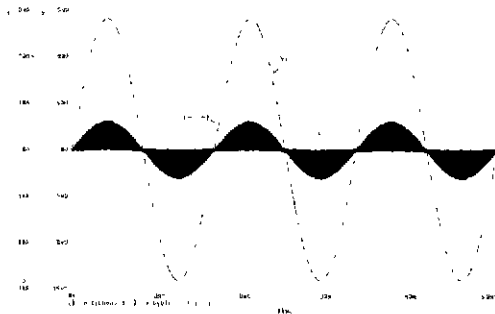


그림 5. 입력 전압 · 전류 파형

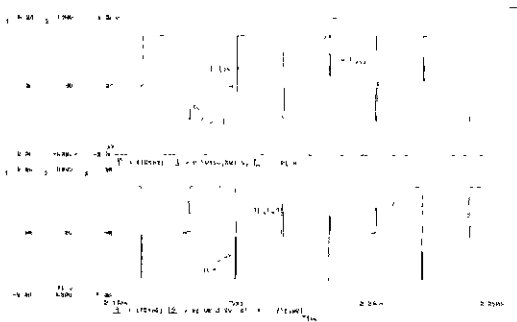


그림 6. 주 스위치의 전압 · 전류 파형

3 결 론

본 논문이 제안하는 동기 정류기를 이용한 역률보상형(PFC) 소프트 스위칭 컨버터에서 교역률과 소프트 스위칭이 확보됨을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 추가적인 회로를 사용하지 않고, 스너버용 외부 커패시터와 고주파 트랜스포머의 누설 인덕턴스 성분의 공진 현상을 이용하여 소프트 스위

칭이 달성됨을 확인하였다. 또한, 입력단의 브릿지 다이오드의 한 레그(Leg)를 능동 스위치로 대체하여 교류 입력을 정류하는 다이오드의 역할과 역률보상(PFC)을 위한 스위치의 역할을 복합적으로 하게 동작시켰다. 그리하여, 필요한 소자의 개수는 줄이고, 전류의 흐름상에는 항상 두 개의 스위치만이 존재하게 하여, 도통 손실을 저감시킬 수 있었고, 시스템을 소형화시킬 수 있음을 확인 할 수 있었다. 그리고, 트랜스포머 이차측에 동기 정류기를 사용하여 다이오드를 사용하였을 경우 발생하는 오프-셋 전압강하가 없어 효율이 향상됨을 알 수 있었다. 그러나, 이후 실험을 통하여 이상의 내용을 검증하고, 이차측에 다이오드를 사용하였을 경우와 비교 검토할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] Hengchun Mao, Fred. C. Lee, Yimin Jiang, and Dusan Borojevic, "Review of Power Factor Correction Technique," IPEMC '99, p.9~19.
- [2] M. van der Berg, and J. A. Ferreira, "A Family of Low EMI, Unity Power Factor Converters," PESC Vol.2, p.1120~1127, 1996.
- [3] T. F Wu, S. A Liang, and C. H Lee, "A Family of Isolated Single-Stage ZVS-PWM Active-Clamping Converters," PESC Vol.2, p.665~670, 1999.
- [4] A.F.de Souza, and Ivo Barbi, "A New ZCS Quasi-Resonant Unity Power Factor Rectifier with Reduced Conduction Losses," PESC p.1171~1177, 1995.
- [5] A.F.de Souza, and Ivo Barbi, "A New ZVS-PWM Unity Power Factor Rectifier with Reduced Conduction Losses", IEEE Trans. Power Electronics ,Vol 10, no. 6, p.746~752, 1995.
- [6] 강필순, 김광태, 홍순일, 김철우, "도통손실 저감을 위한 새로운 역률 보상 AC/DC 컨버터", 한국조명·전기설비학회 학술대회 논문집, p273~278, 1999.
- [7] Marian K. Kazimierczuk, Chuyun Wu, and Robert C. Cravens, "Frequency-Controlled Series-resonant DC-DC Converter with Center-Tapped Synchronous Rectifier," Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on Vol 333, p.939~948, 1997.