

# Single-Stage PFC AC/DC Full Bridge Converter의 소프트 스위칭에 관한 연구

임경내\*, 성병기\*, 계문호\*, 권순재\*\*, 김철우\*  
부산대학교\*, 부경대학교\*\*

## A Study on Soft Switching of Single-Stage PFC AC/DC Full Bridge Converter

Kyoung-Nae Lim\*, Beang-Gee Sung\*, Moon-Ho Kye\*, Soon-Jae Kwon\*, Cheul-U Kim\*  
Pusan National University\*, Pukyong National University\*\*

### Abstract

This paper proposes a new soft switching single stage AC/DC full bridge converter with unit power factor and isolated output. This circuit shows that it is possible to combine the boost converter which is for PFC(Power Factor Correction) and full bridge converter which is for DC/DC converter. A simple auxiliary circuit which includes neither lossy components nor active switches eliminates ringing of secondary side of the transformer.

The characteristics of the proposed circuit are investigated and the validity is verified by the simulation results.

### I. 서 론

최근 IEC555-2와 같은 국제규제에 의해 고조파에 대한 기준이 정해지면서 입력 선전류의 고조파 저감과 고역률 보상회로에 대한 관심이 증대되고 있다. 그래서, AC/DC 변환기의 입력단에서 입력 역률을 보상하기 위한 역률 보상 회로의 채용이 거의 일반화되어 가고 있다. 이러한 단위 역률을 이루기 위한 일반적인 형태로는 그림 1에 나타낸 것처럼 2단(2 stage) 구조로써 고역률을 얻기 위한 역률 보상 회로와 안정된 직류출력전압을 만들어 내기 위한 DC/DC 컨버터 부분으로 구성된다. 그러나, 이러한 방식은 stage가 2개 존재하므로 부피가 커져 전체 시스템은 복잡해지고 비효율적이며 고가인 단점이 있다. 그러므로, 입력 역률을 향상시키고 안정된 출력전압을 동시에 얻을 수 있으며 전체 시스템이 간단한 형태의 1 단(single stage) 구조가 최근에 많이 연구되고 있는

실정이다. [1,2]

본 논문에서는 역률 보상 회로용으로 널리 쓰이는 Boost 컨버터와 Full Bridge DC/DC 컨버터를 결합한 topology를 제안한다. 그림 2에 기본적인 회로를 나타내었다. 그림 2에 있는 회로의 스위칭 패턴은 기존의 DC/DC 컨버터에 쓰이는 phase-shift ZVS 기법을 적용하여 소프트 스위칭을 구현한다.

제안한 회로는 스위치의 개수를 줄인 장점을 가지고 있고, duty ratio 일정 스위칭 제어에 의해 전류 불연속 모드로 동작하고, 스위칭 동작을 소프트 스위칭으로 한다. 그리하여, 시스템 효율의 증대, 고역률화를 해석 및 시뮬레이션으로 확인한다.

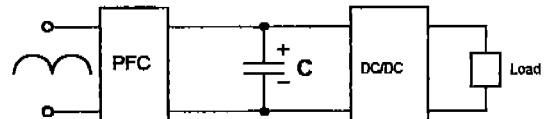


그림 1. 일반적인 2단 구조의 PFC AC/DC 컨버터

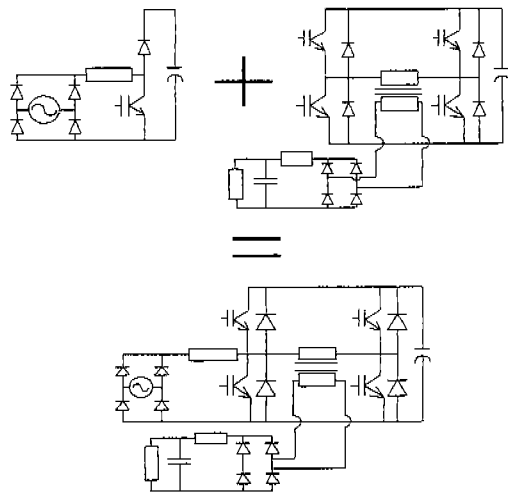


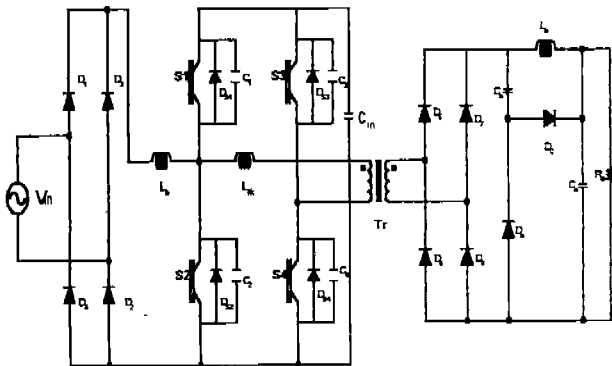
그림 2. 제안하는 1단 구조의 PFC AC/DC Full Bridge 컨버터

## II. 본 론

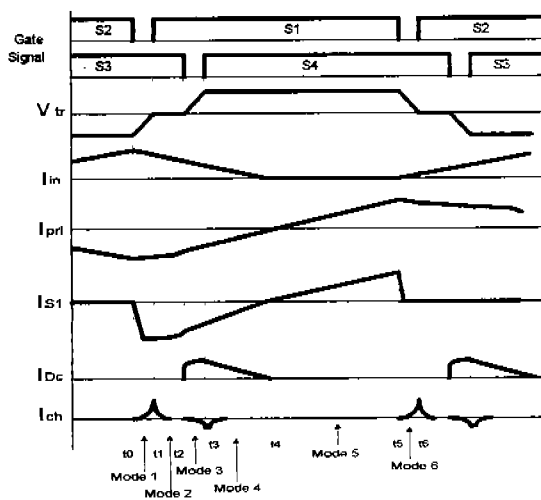
제안하는 1단 구조의 PFC AC/DC Full Bridge 컨버터는 PFC용의 Boost 컨버터에 쓰이는 스위치와 다이오드를 Full Bridge DC/DC 컨버터의 스위치와 다이오드로 대체하여 시스템의 부피를 줄일 수 있다.

그리고, 2차측 정류단의 ringing 현상을 줄이기 위해 부가적인 손실형 소자나 능동 스위치가 없는 간단한 보조회로를 삽입하였다. 보조 회로를 삽입한 주회로도를 그림 3(a)에 나타내었다.

회로의 1차측은 단위 역률을 이루기 위한 Boost 컨버터의 형태에 기초를 둔 것으로 110V 교류 입력 전압을 승압시켜 1차측 출력단에 있는 에너지 축적 커패시터에 320V의 전압을 유지하는 역할을 하며, 2차측은 Full Bridge 컨버터의 형태에 기초를 둔 절연된 DC/DC 컨버터로 출력전압을 일정하게 유지시키는 역할을 한다.



(a) 주회로도



(b) 스위칭 신호와 동작파형

그림 3. 주회로도 및 스위칭 신호와 동작 파형

제시한 회로의 기본 동작은 기존의 영전압 스위칭

Full Bridge DC/DC 컨버터의 phase-shift 제어 원리와 동일하다. 제시한 회로는 반주기에 6가지의 동작 모드가 있다. 이 회로의 스위칭 신호와 동작 파형을 그림 3(b)에 나타내었다.

정상 상태 동작을 설명하기 위해 모든 소자와 부품은 이상적이고 스위칭 주기동안에 에너지 축적 커패시터(Cin)의 전압은 정전압원으로 간주한다.

교류 입력 전류가 증가하는 구간에서는 승압용 인덕터에 걸리는 전압은 교류 입력 전압과 같고, 교류 입력 전류가 감소하는 구간에서는 에너지 축적 커패시터의 전압과 교류 입력 전압의 차가 승압용 인덕터에 걸린다. 그림 4는 회로 동작모드를 나타내고 있고, 스위칭의 반주기에 대한 각 모드별 설명을 하면 다음과 같다.

### Mode 1 ( $t_0 \sim t_1$ )

전의 모드에서는 스위치 S2와 스위치 S3의 경로를 통해 부하로 전력을 전달하고, 승압용 인덕터에 에너지를 저장한다.  $t_0$ 에서 스위치 S2가 Turn-off 되면 승압용 인덕터에 에너지를 저장시키던 교류 입력 전류는 감소하기 시작한다.

1차측에 흐르는 전류에 의해 C1은 방전하고, C2는 충전하게 된다. 1차측 전압은 감소하고 역시 2차측 정류 전압도 감소하게 된다.

### Mode 2 ( $t_1 \sim t_2$ )

C1이 완전 방전을 하고 DS1이 도통하기 시작한다. 1차측의 전류는 DS1과 스위치 S3를 통해서 환류를 하게 되고, 교류 입력 전류는 에너지 축적 커패시터 Cin을 충전시킨다.

2차측 정류 전압이 완전히 0으로 떨어져 2차측의 보조회로에 있는 Ch가 부하로 더 많은 전류를 흘린다.

### Mode 3 ( $t_2 \sim t_3$ )

스위치 소자 S3가 Turn-off 되면, 1차측에 흐르는 전류에 의해 C3를 충전시키고 동시에 C4를 방전시킨다.

### Mode 4 ( $t_3 \sim t_4$ )

C4가 방전을 다 하게 되면, DS4가 도통하기 시작하는데, 이 전류 path는 DS1을 통해서 Cin으로 흘러 1차측 전류를 감소시킨다. 그리하여, 스위치 S4는 영전압 상태를 유지한다.

1차측 전류가 감소하면서 누설 인덕턴스에 저장되었던 에너지가 2차측에 정류기를 통해 2차 전류를 흘러, Ch를 충전한다.

### Mode 5 (t4 ~ t5)

교류 입력 전류가 완전히 영으로 되어 불연속 구간이 되면, 에너지 축적 커패시터  $C_{in}$ 으로부터 부하로 전력을 전달하는 일반적인 DC/DC 컨버터로서 동작하는 구간이다.

### Mode 6 (t5 ~ t6)

스위치 소자 S1이 Turn-off되면 1차측에 흐르는 전류에 의해 C1은 충전될 하게 되고 C2는 방전을 하게 된다. 2차측 전류는 급속히 감소하게 되고, 교류 입력 전류는 흐르기 시작한다.

이후의 동작모드는 교류 입력 전류가 승압용 인덕터를 통해 증가하기 시작하여 인덕터에 에너지를 저장시키는 것 빼고는 동일한 과정으로 이뤄진다.

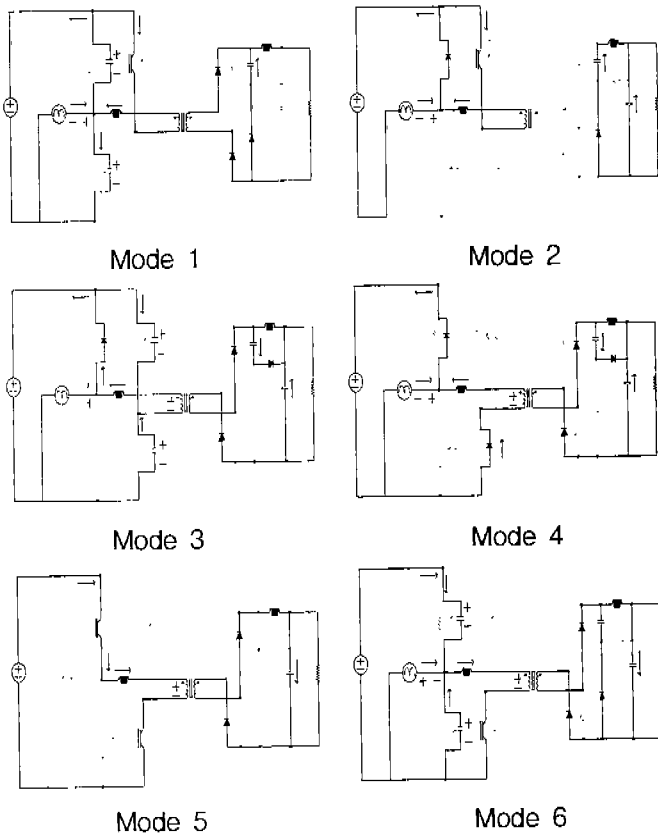


그림 4. 동작모드 등가회로

### III. 시뮬레이션 결과

그림 5와 그림 6은 그림 3의 주회로도를 P-Spice를 이용하여 얻은 시뮬레이션의 결과이다. 그림 5는 변압기 1, 2차측 양단 전압/전류, 스위치 소자의 전압/전류 및 다이오드와 보조회로의 커패시터 전류 등을 나타내고 있다. 스위치 소자가 영전압에서 turn-on

됨을 볼 수 있다.

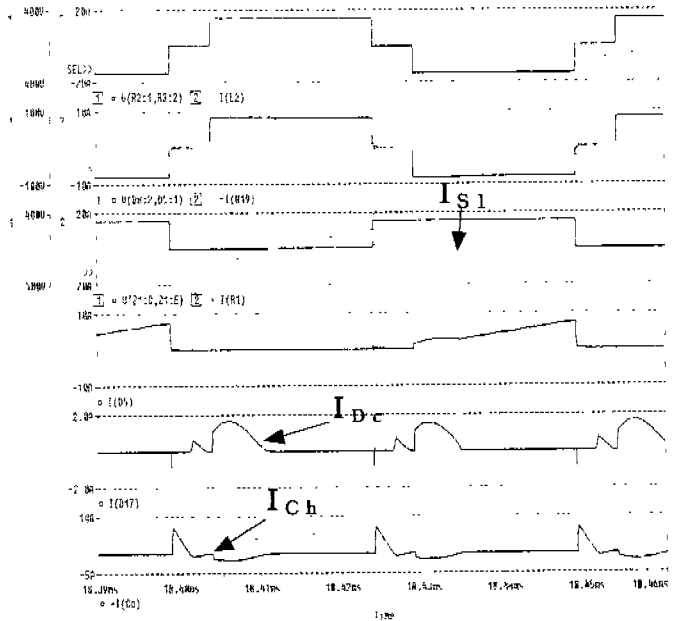


그림 5. 시뮬레이션 각 부 파형

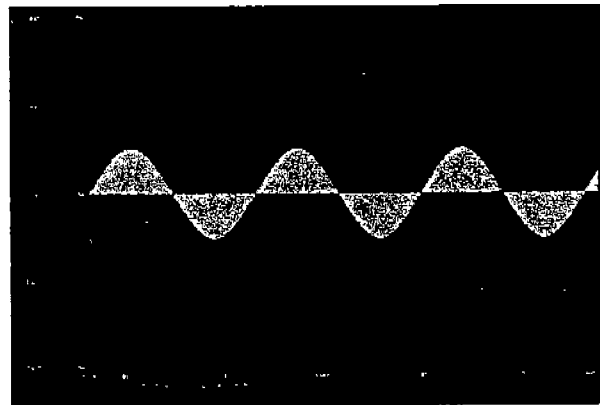


그림 6. 교류 입력 전압과 전류

그림 6에서처럼 교류 입력 전압, 전류가 역률 1로 동작하고 있음을 알 수 있다. 이 때 시뮬레이션에 사용된 회로정수는 Table 1과 같다.

항 목	Value
입력 전압	110V(rms)
스위칭 주파수	20kHz
leakage inductance	5 $\mu$ H
변압기 L1, L2	400 $\mu$ H, 30 $\mu$ H
승압용 인덕터	300 $\mu$ H
출력 커패시터	300 $\mu$ F
보조회로 커패시터	20 $\mu$ F

Table 1. 회로 정수

#### IV. 결 론

이상의 결과로부터 역률 보상 회로를 Full Bridge 컨버터와 결합시킨 회로를 제안하였고, 모드별 동작 파형을 해석하였고, 시뮬레이션을 통하여 검토해 보았다. 특히, 역률 보상 회로와 DC/DC 컨버터를 하나로 합친 제안한 회로가 단위역률로 동작하는 것을 보았고, 각 스위치가 영전압에서 Turn-on 되고, 2차측 정류단의 ringing 현상도 상당히 감소되는 것을 볼 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 김태진, “무손실 스너머적용 소프트 스위칭 Single Stage AC-DC Full Bridge Boost 컨버터”, 대한전기학회 하계학술대회, PP. 1989-1992, 1997.7
- [2] Y.Jiang, F.C.Lee, G.Hua, W.Tang, “A Novel single-phase power factor correction scheme”, IEEE Applied Power Electronics Conf.(APEC) Proc., PP. 287-292, Mar.1993