

# 역률개선용 소프트 스위칭 부스트 컨버터

황춘환\*, 박상훈\*, 장수진\*, 원충연\*, 정용채\*\*

\*성균관대학교, \*\*남서울대학교

## Soft Switching Boost Converter for Power Factor Correction

Chun-Hwan Hwang\*, Sang-Hoon Park\*, Su-Jin Jang\*, Chung-Yuen Won\*, Yong-Chae Jung\*\*

\*Sungkyunkwan University, \*\*Namseoul University

### ABSTRACT

일반적인 AC/DC변환 장치는 안정화된 직류 전원을 얻기 위해 대용량의 커패시터와 고속의 전력용 반도체 스위칭 소자를 사용한다.

하지만, 이러한 소자의 사용으로 인해 입력측의 고조파 손실 및 역률 저하의 문제점을 갖게 되고 고속 스위칭에 따른 스위칭 손실에 의한 효율이 저하되는 문제점을 갖게 된다.

따라서 본 논문에서는 역률개선이 가능하고 스위칭 손실이 저감되는 ZVS 방식을 이용한 새로운 형태의 역률개선용 소프트 스위칭 방식의 부스트 컨버터를 제안한다.

### 1. 서 론

최근 전원 장치의 역률 개선을 위해서 DC/DC 컨버터에 역률개선회로가 추가적으로 사용되고 있다.<sup>[1]</sup>

일반적인 가정용 기기나 사무기기 등의 전원은 대부분이 커패시터 입력형 정류회로를 사용함으로써 입력전류가 전원의 피크부분에서 도통되는 펄스형 전류가 발생하게 된다. 이러한 펄스형 전류는 에너지 효율을 저감시킬 뿐만 아니라 고조파 성분을 많이 포함하고 있어 전체 시스템에 심각한 영향을 미칠 수가 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 입력 전압과 전류의 위상각을 동기화 시켜 역률을 개선할 수 있는 회로를 추가하게 된다.<sup>[2][3]</sup>

또한, 반도체 소자의 발달로 인해 고속의 스위칭이 가능해졌으나 스위칭 손실이 증가하였다. 이러한 손실을 줄이기 위해 여러 가지 스위칭 방식이 제안되고 있다. 본 논문에서는 턴-온 구간에서 영전압 스위칭을 하고, 턴-오프 구간에서는 영전류 스위칭을 함으로써 스위칭 손실을 감소시키는 방법을 제시한다.<sup>[4]</sup>

### 2. 본 론

#### 2.1 역률 제어

본 논문에서 제시하는 역률제어 방법은 큰 용량의 평활용 커패시턴스 대신에 승압형 DC/DC 컨버터인 부스트 컨버터를 이용한 것이다. 그림 1에서 첫 번째 제어기는 부스트 컨버터의 출력전압을 검출하여 기준값과의 오차값이 입력이 된다.

이 오차값과 입력전압을 검출하여 순시적인 전압값의 절대치를 전압의 첨두치로 나누어 위상만을 검출한 값과의 곱으로 동기화하였다. 동기화 과정에서 출력전압과 기준전압의 오차가 DC

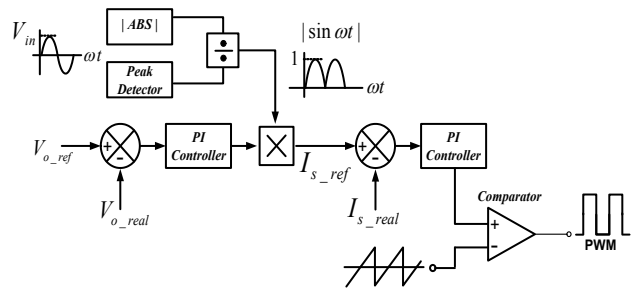


그림 1 역률제어를 위한 제어기 구성도

레벨이기 때문에 교류 입력 전압을 절대치화 하여 DC 레벨로 변환하였다. 이 동기화된 값의 변화량은 전류값이라고 볼 수 있기 때문에 전류 레퍼런스가 된다. 정류기 출력전류를 센싱하여 전류 레퍼런스와 오차값을 구한다. 이 오차값이 두 번째 제어기의 입력이 되고, 제어기의 출력이 PWM을 만들기 위한 기준파가 된다. 이 기준파는 톱니파와 비교하여 PWM 신호가 만들어지고 스위칭 신호가 된다.

본 논문에서는 이러한 Feed-forward 제어에 의해 컨버터 입력전류 파형이 정류기의 교류 입력전압 파형에 추종하여 입력전류의 파형을 정현파 형태로 해 줌으로써 역률을 개선하였다.

#### 2.2 동작 모드 및 중요 파형

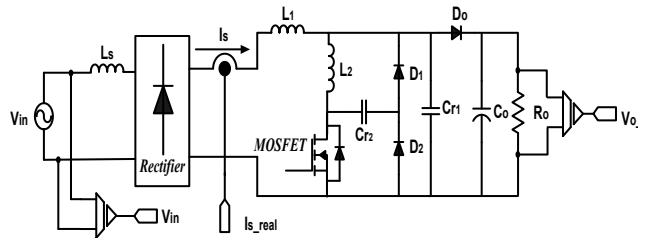


그림 2. 역률 개선용 소프트 스위칭 컨버터

본 논문에서 제시하는 회로도도 그림 2와 같다.  $C_{r1}$ ,  $C_{r2}$ ,  $L_2$ ,  $D_1$ ,  $D_2$ 를 제외하면 일반적인 부스트 컨버터와 동일하다. 추가된 소자 중에서  $C_{r1}$ ,  $C_{r2}$ ,  $L_2$ 는 에너지의 저장과 방출을 하면서 ZVS, ZCS을 위한 공진을 만들어 주기 위해 설계되었고,  $D_1$ ,  $D_2$ 는 환류다이오드로서  $C_{r1}$ ,  $C_{r2}$ ,  $L_2$ 에 저장, 축적되어 있던 에너지를 방출시 환류하는 전류 경로를 만들어 준다

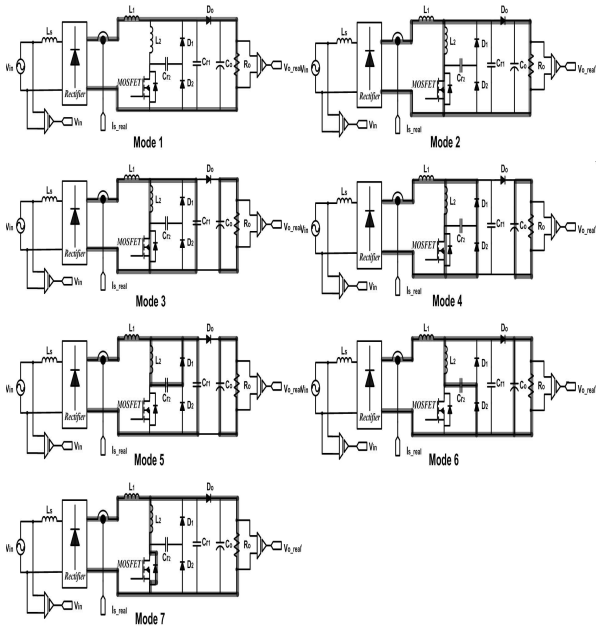


그림 3. 제안된 회로의 동작모드

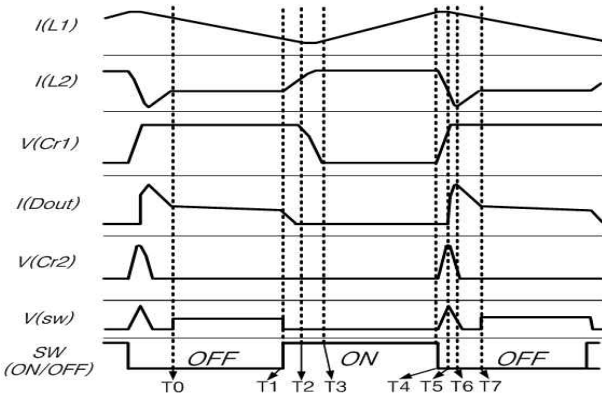


그림 4. 제안된 회로의 중요 동작 파형

정상 상태에서의 동작원리를 분석하기 위해 입력측의 부스트 인덕터는 한 주기 동안 정전류원으로 가정하고 모든 소자는 이상적인 것으로 가정한다.

① Mode 1 ( $t_0 \sim t_1$ )

스위치는 Off 상태이고 정류기의 직류출력이  $D_o$ 을 통해 부하에 직접 전달된다. 이때  $C_o$ 와  $C_{r1}$ 에는 출력전압과 같은 크기의 전압이 충전된다.

② Mode 2 ( $t_1 \sim t_2$ )

ZCS로 스위치가 켜지면 보조 공진인덕터  $L_2$ 에는 출력전압이 걸리고 전류가 선형적으로 상승한다. 이 전류가 주 인덕터  $L_1$ 의 전류와 같아지면 출력측 다이오드  $D_o$ 의 전류는 영이된다.

③ Mode 3 ( $t_2 \sim t_3$ )

다이오드  $D_o$ 의 전류가 "0"이 되어 Off가 되면 보조 공진인덕터  $L_2$ 와 보조 공진커패시터  $C_{r1}$ 이 공진을 하여  $C_{r1}$ 의 전압이 영으로 감소하게 된다. 주 인덕터  $L_1$ 의 전류는  $L_2$ 와 스위치를 통해서

흐른다. 이 때  $C_o$ 에 충전되어 있던 전압이 방전하면서 지속적으로 부하로 전력공급을 해준다.

④ Mode 4 ( $t_3 \sim t_4$ )

보조 공진커패시터  $C_{r1}$ 의 전압이 "0"이 되면 보조 다이오드  $D_1$ 과  $D_2$ 가 On이 된다. 이 구간동안 보조 공진인덕터  $L_2$ 의 전류는 두 가지 경로로 나뉘게 된다. 하나는 주 인덕터의 전류이고 다른 하나는 보조다이오드를 통해서 환류하는 전류이다.

⑤ Mode 5 ( $t_4 \sim t_5$ )

스위치가 ZVS 조건으로 Off가 된다. 그러면 두 개의 전류경로가 생긴다. 하나는  $L_1-C_{r1}-V_{IN}$ 의 경로로 보조 공진커패시터  $C_{r1}$ 의 전압이 영에서 출력전압  $V_o$ 까지 상승한다. 두 번째는  $L_1-C_{r2}-D_1$ 의 경로로 두 번째 공진이 발생한다.  $L_2$ 에 저장된 에너지가  $C_{r2}$ 로 이동한다. 이 에너지 이동이 모두 끝나면  $L_2$ 의 전류는 "0"이 되고  $C_{r2}$ 의 전압이 최대값이 된다.

⑥ Mode 6 ( $t_5 \sim t_6$ )

$C_{r2}$ 에 충전되는 전압이 최대가 되면 충전되어 있는 전압이 방전이 되면서  $D_2-C_{r2}-L_2-D_o-C_o$ 의 경로로 계속 공진을 하여서  $C_{r2}$ 의 에너지를  $L_2$ 로 이동 시킨다. 그래서  $C_{r2}$ 의 전압이 "0"이 되면  $L_2$ 의 전류는 Mode 4에서의 전류방향과 반대로 흐른다.  $C_{r2}$ 의 전압이 "0"이 되면 스위치의 역병렬 다이오드가 켜지면서 다음 모드로 넘어간다.

⑦ Mode 7 ( $t_6 \sim t_7$ )

이 모드에서도 두 개의 전류경로가 있다. 주 인덕터  $L_1$ 의 전류는  $D_o$ 를 통해서 출력으로 에너지를 전달하며 선형적으로 감소한다. 보조 공진인덕터  $L_2$ 의 전류도  $D_o$ 을 통해서 부하로 에너지를 전달하는데 스위치의 역병렬 다이오드를 통해서 흐른다. 보조 공진인덕터  $L_2$ 의 전류가 영이 되면 이 모드가 끝나고 다시 모드 1로 이동한다.

3. 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 회로도 및 중요 파형

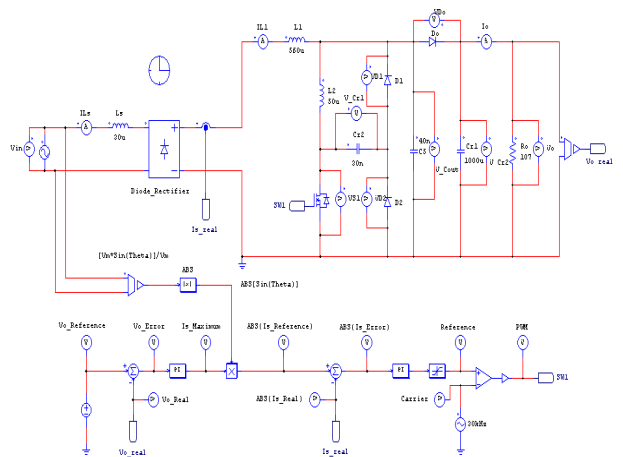


그림 5. 시뮬레이션 회로도

표 1. 시뮬레이션에 사용된 파라미터

입력전압	$V_{in}$	220 [ $V_{rms}$ ]
출력전압	$V_o$	400 [V]
스위칭 주파수	$f_s$	30 [kHz]
공진 캐패시터 1	$C_{r1}$	40 [nF]
공진 캐패시터 2	$C_{r2}$	30 [nF]
승압형 인덕터	$L_1$	560 [ $\mu$ H]
공진 인덕터	$L_2$	50 [ $\mu$ H]
입력 리액터	$L_s$	30 [ $\mu$ H]

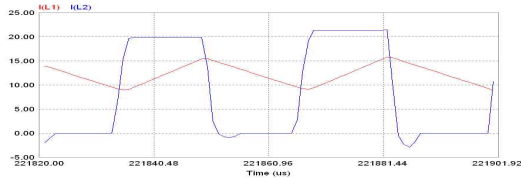


그림 6. 인덕터  $L_1$ ,  $L_2$ 의 전류 파형

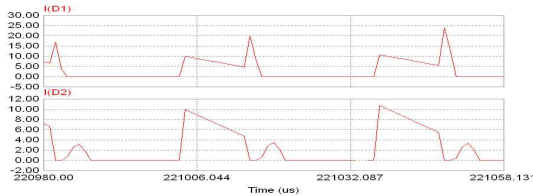


그림 7. 보조 다이오드  $D_1$ ,  $D_2$ 의 전류 파형



그림 8. 스위치의 전류, 전압, 스위칭 신호 파형

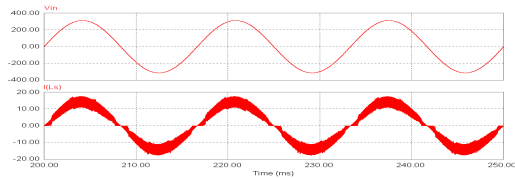


그림 9. 입력전압, 입력전류의 파형

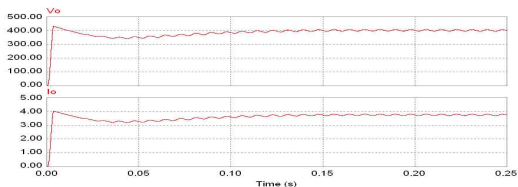


그림 10. 출력전압, 출력전류

표 1은 그림 5의 시뮬레이션 회로도에 사용된 각 파라미터 값으로 본 논문에서는 POWERSIM사의 PSIM6.0을 사용하여 시뮬레이션을 구현하였다.

그림 6에서 부스트 인덕터 전류가 스위치의 On-Off 상태에 따라 선형적으로 증가, 감소를 하고 있다. 또한 보조 인덕터도 스위치의 상태에 따라 에너지의 축적과 방출을 하고 있다.

그림 7에서 다이오드에 흐르는 전류는 공진이 되는 상태에 따라 모드별로 흐르고 있다. 초기에는 다이오드 2개가 모두 On 이 되고, 다음에  $D_1$ ,  $D_2$ 가 모드 별로 On-Off가 되는 것을 볼 수가 있다.

그림 8은 스위치에 걸리는 전압과 전류, 그리고 스위칭 신호 파형이다. ZVS, ZCS가 일어나는 부분에서 스위치의 On-Off가 됨을 확인 할 수 있다.

마지막으로 그림 9와 그림 10을 보면 정류기 전단의 입력전압과 전류가 동상으로 역률이 안정적으로 제어 되고 있음을 볼 수 있다. 출력전압과 전류가 부스트 컨버터를 통하여 직류전압 400[V]로 승압됨을 확인 할 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 교류 입력전압과 정류기의 출력 전류를 검출하여 입력의 역률을 제어하고 주 스위치가 영전압과 영전류 스위칭을 함으로써 효율을 상승시키는 부스트 컨버터 회로를 제안하였다.

역률을 제어 하면서 펄스형 전류 발생을 억제하여 전체적인 시스템의 안정성을 향상시켰다.

본 논문은 산업자원부의 출연금으로 수행한 특성화 대학원사업의 연구결과입니다

#### 참고 문헌

- [1] 양준현, 이동영, 조보형, “에너지 회생 변압기를 사용한 영전압 과도상태(ZVT) 부스트 역률보상 회로”, 전력전자학술대회 논문집, pp.548-551, 2007. 07
- [2] 전내식, “PFC용 부스트 컨버터의 병렬화에 의한 효율 개선”, 한국해양대학교 대학원 박사학위 논문, 2004. 08
- [3] Borges, A.Vincenzi, F.R.S. de Freitas, L.C.Gomes Feritas, M.A.A. Fernandes, E.R.Vieira, J.B. de Feritas. L.C., “Lossless Commutated Boost Converter applied as a PFC Stage for Uninterruptible Power Supply System without Battery Charger”, PESC 07, pp.231-237, 2007. 06
- [4] Tseng, S.Y.Shiang, J.Z.Chang, H.H.Jwo, W.S.Hsieh, C.T., “A Novel Turn-On/Off Snubber for Interleaved Boost Converter”, PESC 07, pp.2341-2347, 2007.06