

하프 브리지 컨버터의 비대칭 제어 동작 특성 분석

인중록, 장도현  
호서대학교 전기공학과

Characteristic Analysis of Asymmetrical Half-Bridge Converter

Jung-Rok Ahn, Do-Hyun Jang  
Dept. of Electrical Engineering Hoseo University

**Abstract** - In this paper, resonant characteristics of the asymmetrical soft switching half bridge converter is analyzed. The operation principle for proposed converter is explained in steady-state and its operation characteristics by switching frequency is presented with experimental result. Experimental results carried out on a system prototype are included in this paper.

1. 서 론

비대칭 제어 소프트 스위칭 컨버터의 소프트 스위칭 원리는 기본적으로 영전압·영전류 스위칭 원리와 같지만 가변 주파수 제어 방식의 컨버터와는 달리 고정 주파수의 PWM(Pulse Width Modulation)제어를 통해 출력 전압을 안정화시킨다는 특징을 갖는다. 또한 출력측의 저역 필터로 LC필터를 사용하기 때문에 대전류의 부하에 적용한 경우에도 출력측 커패시터에는 전류 스트레스가 가해지지 않는다.[1]

비대칭 방식 컨버터의 주 회로는 하프 브리지 컨버터의 구조로 되어 있으며, 두 개의 스위치는 각각 주 스위치와 보조 스위치로 구분할 수 있으며 주 스위치 및 보조 스위치의 도통 시간을 각각  $DT$  및  $(1-D)T$ 로 하여 동작시킨다. 이때 주 스위치와 보조 스위치의 동작간에는 일정한 데드 타임(Dead-Time)이 존재해야 하며, 이 구간 동안 소프트 스위칭이 이루어지는 원리다.[1, 2] 본 논문에서는 대전류 부하에 적용하기 위해 출력측에 인덕터를 추가 하였으며 이때 나타나는 특성을 분석하여 고정 주파수의 비대칭 PWM방식을 적용한 소프트 스위칭 컨버터에 대하여 연구하였다.

2. 비대칭 제어 컨버터의 해석

비대칭 소프트 스위칭 컨버터의 기본회로를 그림 1에 나타내며, 이 컨버터는 기본적으로 PWM 제어를 통해 출력 전압을 조정한다.

이 회로에서  $Q_1$  및  $Q_2$ 는 주 스위치와 보조 스위치를 나타낸다. 각 스위치에 병렬로 위치한 다이오드  $D_{Q1}$  및  $D_{Q2}$ 는 스위치 소자에 내장된 바디 다이오드이며  $C_{Q1}$  및  $C_{Q2}$ 는 MOSFET의 드레인-소스간의 기생 커패시턴스인  $C_{oss}$ 이다.[1,3]

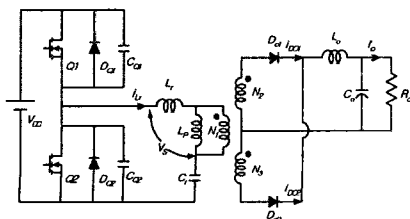


그림 1. 비대칭 제어 소프트 스위칭 컨버터

비대칭 제어 방식을 이용할 경우 컨버터의 전압 전달은 변압기의 누설 인덕턴스 및 여자 인덕턴스와 공진 커패시터 사이의 전류 공진을 이용하므로 제안된 컨버터는 동작 주파수에 따라 전압 전달비가 변하게 된다.

이 때 스위칭 주파수는 컨버터 1차측의 공진 주파수 보다 높게 설정해야 한다. 그 이유는 스위칭 주파수가 공진 주파수 보다 낮거나 같을 경우 컨버터 1차측의 공진 전류가 스위칭 소자의 역 병렬 다이오드를 통해 환류하지 않게 되고 스위칭 소자에서 영전압 영전류 턴온이 이루어지지 않기 때문이다.

비대칭 제어 소프트 스위칭 DC-DC 컨버터의 해석은 간단히 6개의 모드로 구분하여 나타낼 수 있다. 그림 2는 컨버터 각 부분의 이론적 동작 파형을 나타내며, 그림 3은 각 모드별 전류 경로를 나타낸다.

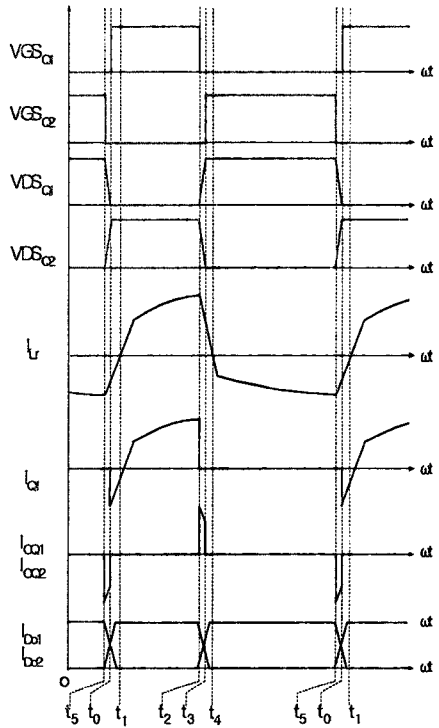
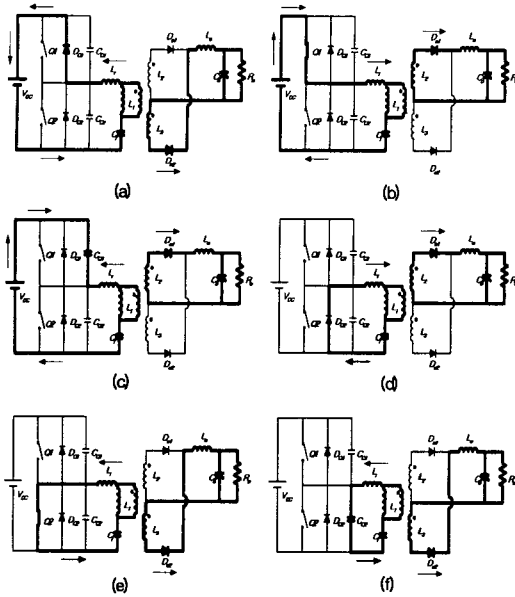


그림 2. 각 부분의 이론적 동작 파형



(a) Mode I (b) Mode II (c) Mode III  
(d) Mode IV (e) Mode V (f) Mode VI  
그림 3. 제한한 컨버터의 모드별 전류경로

**모드 I ( $t_0 \sim t_1$ )**

그림 3(a)는 모드 I의 등가회로를 나타낸다. 그림 2의  $t = t_0$ 에서 공진전류는 스위치  $Q_1$ 의 바디 다이오드를 통해 전원측으로 회생하게 된다. 이때 스위치  $Q_1$  양단사이의 전압은 영이 되고 공진 전류가 스위치  $Q_1$ 의 바디 다이오드를 통해 흐르는 구간 동안 스위치  $Q_1$ 을 턴 온 시킴으로써 영전압·영전류 스위칭이 이루어진다. 변압기의 에너지는 출력측 정류 다이오드  $D_{O2}$ 를 통해 부하측으로 전달된다.

**모드 II ( $t_1 \sim t_2$ )**

그림 3(b)는 모드 II의 등가회로를 나타낸다. 그림 2의  $t = t_1$ 에서 공진전류는 방향이 반전되어 턴 온된 스위치  $Q_1$ 을 통해 변압기로 공급되며, 스위치  $Q_1$ 의 병렬 커패시터  $C_{Q1}$ 은 완전히 방전된다. 이 때 변압기의 에너지는 출력측 정류 다이오드  $D_{O1}$ 을 통해 부하측으로 전달된다.

**모드 III ( $t_2 \sim t_3$ )**

그림 3(c)는 모드 III의 등가회로를 나타낸다. 그림 2의  $t = t_2$ 에서 스위치  $Q_1$ 이 턴 오프하게 되면 공진전류는 스위치  $Q_1$ 의 병렬 커패시터  $C_{Q1}$ 을 충전시킴과 동시에 영전압 턴오프가 이루어진다. 변압기의 에너지는 정류 다이오드  $D_{O1}$ 을 통해 출력측으로 전달된다.

**모드 IV ( $t_3 \sim t_4$ )**

그림 3(d)는 모드 IV의 등가회로를 나타낸다. 그림 2의  $t = t_3$ 에서 변압기 1차측의 공진전류는 스위치  $Q_2$ 의 바디 다이오드를 통해 공진탱크를 순환하게 된다. 이 때 스위치  $Q_2$ 양단의 전압은 영이되고 공진전류가 스위치  $Q_2$ 의 바디 다이오드를 통해 흐르는 구간 동안 스위치  $Q_2$ 를 턴 온 시킴으로써 영전압·영전류 스위칭이 이루어

진다. 변압기의 에너지는 출력측 정류 다이오드  $D_{O1}$ 을 통해 부하측으로 전달된다.

**모드 V ( $t_4 \sim t_5$ )**

그림 3(e)는 모드 V의 등가회로를 나타낸다. 그림 2의  $t = t_4$ 인 지점에 이르게 되면 공진전류는 방향이 반전되어 급격히 하강하게 되어 스위치  $Q_2$ 를 통해 흐르게 되고, 스위치  $Q_2$ 의 병렬 커패시터  $C_{Q2}$ 가 완전히 방전된다. 이 때 변압기의 에너지는 출력측 정류 다이오드  $D_{O2}$ 를 통해 부하측으로 전달된다.

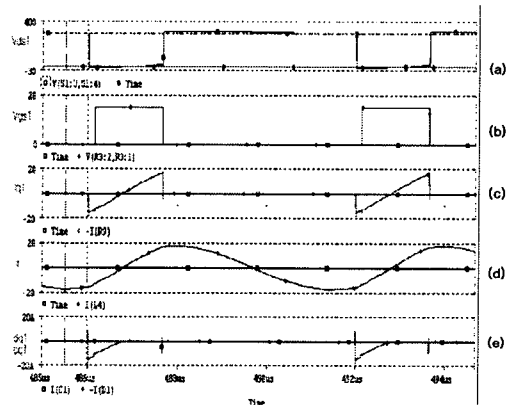
**모드 VI ( $t_5 \sim t_0$ )**

그림 3(f)는 모드 VI의 등가회로를 나타낸다. 그림 2의  $t = t_5$ 에서 스위치  $Q_2$ 가 턴오프하게 되면 공진전류는 스위치  $Q_2$ 의 병렬 커패시터  $C_{Q2}$ 를 충전시킴과 동시에 영전압 턴오프가 이루어진다. 변압기의 에너지는 정류 다이오드  $D_{O2}$ 를 통해 출력측으로 전달되고, 모드 VI이 끝 나게 되면 이상의 6개 모드가 반복된다.

**3. 실험 결과**

비대칭 제어 소프트 스위칭 컨버터의 시뮬레이션 결과로 각 부분의 파형을 그림 4에 나타내었다. 시뮬레이션에서는 스위칭 주파수는 100[kHz], 입력전압은 DC 310[V]로 하였으며 소프트 스위칭 동작 확인을 위해 주 스위치  $Q_1$ 의 시비율을 0.25로 하였다.

그림 4(a), (b)를 통해 스위치  $Q_1$ 이 영전압을 이룬 후 구동신호가 인가됨을 확인 할 수 있다. 그림 4(a), (c) 및 (e)를 통해 스위치의 영전압이 역방향 공진전류가 스위치  $Q_1$ 의 바디 다이오드를 통해 흐르게 됨으로써 이루어진다는 것을 확인 할 수 있다. 또한 그림 4(d)를 통해 컨버터의 최소 시비율을 0.25로 가정하였을 경우에도 공진전류는 불연속 구간이 나타나지 않게 됨을 확인할 수 있다.



(a)  $V_{DSQ1}$  (b)  $V_{GSQ1}$  (c)  $I_{Q1}$  (d)  $I_r$  (e)  $I_{DQ1}$   
그림 4. 시뮬레이션 결과

컨버터의 전기적 사양 및 설계상의 각 소자의 파라미터 값을 표 1에 나타내었으며, 그림 5에서 그림 7에 스위칭 특성을 확인하기 위한 실험 결과를 나타내었다. 그림 5는 적분파형 및 구동신호이며 측정파형에서 각 스위치에 인가되는 구동신호 사이의 데드타임을 확인할 수 있다.

그림 6은 컨버터의 보조 스위치  $Q_2$ 에서의 드레인-소스간의 전압  $V_{DS2}$ 와 게이트-소스간의 구동신호  $V_{GS2}$  및 공진전류  $i_r$ 을 나타낸다. 스위치 양단전압인  $V_{DS2}$ 가 완전히 영전압을 이룬 후에 게이트 구동신호  $V_{GS2}$ 가 인가됨을

알 수 있다.

그림 7은 저전압 대전류의 부하에 컨버터 출력측 리플성분의 실험결과를 나타낸다. 5[V]/0~30[A] 범위의 가변 부하에서 최대부하가 적용된 경우의 출력전압에 포함된 리플성분을 나타낸다.

표 1. 컨버터의 설계 파라미터

입력 전압	AC 220[V]
출력 전압	DC 5[V]
출력 전류	0 ~ 30[A]
스위칭 주파수	92[kHz]
공진 커패시터	47[nF]
누설 인덕턴스	38[μH]
스위치 소자	IRF840(500[V]/10[A])
출력측 인덕터	30[μH]
출력측 커패시터	8000[μF]

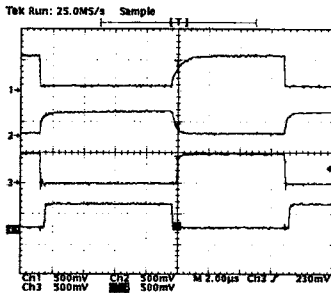


그림 5. 구동신호 파형

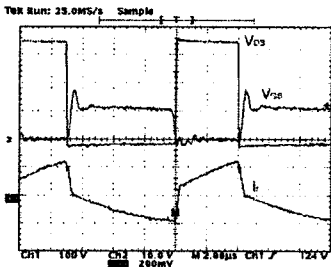


그림 6. 스위치의 측정파형  
 $V_{DS}$ ,  $V_{GS}$ ,  $i_r$

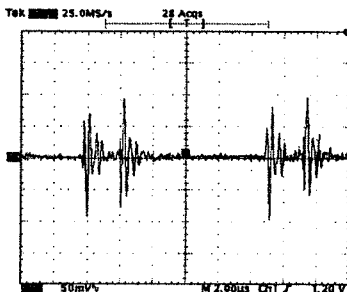


그림 7. 출력전압의 리플

#### 4. 결론

본 연구에서는 출력전류의 한계를 극복하기 위해 출력측에 인덕터를 삽입하였고, 이 때 나타나는 특성을 이용해 비대칭제어 방식의 PWM 제어를 적용시킨 비대칭제어 소프트 스위칭 컨버터에 대해서 실험하였다. 또한 입력측의 분압 커패시터를 사용하지 않기 때문에 컨버터의 전력 밀도를 크게 향상시킬 수 있는 비대칭 소프트 스위칭 컨버터의 우수한 스위칭 특성과 컨버터에서 나타나는 공진특성을 분석하였다.

#### [참고 문헌]

- [1] Korotkov S., Meleshin V., Miftahutdinov R., Fridlin S., "Softswitched asymmetric half bridge DC/DC converter", Telecommunications Energy Special Conference, pp.177-184, 1997
- [2] Furukawa Y., Morita K., Yoshikawa T., "A High Efficiency 105W DC/DC Converter", INTELEC94, pp.148-154, 1994
- [3] Weiyun 초두, Peng Xu, Fred C. Lee, "The Optimization of Asymmetric Half Bridge Converter", IEEE 2001, pp.703-707, 2001
- [4] Praveen K. Jain, Andre St-Martin, Gray Edwards, "Asymmetrical Pulse-Width-Modulated Resonant DC/DC Converter Topologies", IEEE transactions, Vol. 11, pp.413-422, 1996