

## 영전압 스위칭 하프 브리지 DC/DC 컨버터

이인호<sup>o</sup>, 김 성환, 유지운, 박기태  
고려대학교 전기공학과

### Zero Voltage Switching Half Bridge DC/DC Converter

I. H. Lee, S. H. Kim, J. Y. Yoon, G. T. Park  
Dept. of Electrical Eng. Korea Univ.

**Abstract** - A new class of zero-voltage switching (ZVS) pulse width modulated (PWM) half-bridge converter is investigated. The new converter is capable of switching zero voltage and keeping advantages of quasi-resonant half-bridge converter while maintaining constant frequency operation. The theoretical analysis of a ZVS PWM half bridge converter is presented and is verified by PSPICE simulation results.

#### 1. 서론

절연형 DC-DC 컨버터에서 고주파 스위칭은 컨버터의 크기를 감소시키며 빠른 과도 응답특성을 나타낸다. 그러나 주파수가 증가할수록 이에 비례하여 스위칭 손실이 증가하므로 고주파 스위칭을 행하기 위하여 이 스위칭 손실을 억제하는 방법이 필요하다. 이러한 필요성에 의하여 영전류 스위칭 (ZCS), 영전압스위칭 (ZVS) 공진형 컨버터가 개발되었고 ZCS 방식은 용량성 turn-on 손실때문에 최대 1~2MHz 정도로 스위칭 주파수가 제한되고 경부하시 스위칭 주파수가 감소하게 되어 좋은 과도응답 특성을 얻을 수 없다. [1]

ZVS공진형 컨버터는 ZCS 방식의 단점을 개선하기 위하여 개발되었으며 스위치가 turn on 되기전에 인덕터와 커패시터 사이의 공진이 발생하며 공진전압에 의하여 스위치 전압이 0 V 로 감소하였을 때 스위칭을 행한다. 따라서 ZVS 방식은 ZCS 방식 보다 더 높은 고주파 스위칭(10MHz)을 행할 수 있다. [2] 특히 브리지형의 DC-DC 유사공진형 컨버터는 전압 공진이 일어날 때 자동적으로 반대편에 있는 스위치가 turn on 되어 스위치 양단 전압이 입력전압으로 클램핑 (clamping) 되기 때문에 전압 스트레스가 감소된다. 그러나 ZVS컨버터는 부하전류 또는 입력 전압이 변화함에 따라 스위칭 주파수가 변화하고 이에 따라 트랜스포머, 입력측 필터, 제어회로 및 스위칭 구동회로를 최적으로 설계하기가 어렵다.[3,4]

따라서 최근에는 유사 공진형 하프 브리지 컨버터를 고정 주파수로 스위칭하는 방식에 대한 가능성을 제시된 바 있다. [5] 이 방식은 트랜스포머 양단에 보조 스위치를 연결하고 이 보조 스위치를 구동하여 고정주파수 스위칭을 행하는 방법이며 본 논

문에서는 이 방식에 의한 고정 주파수 영전압 스위칭 하프 브리지 컨버터를 PSPICE 툴 사용하여 동작원리 및 특성을 분석하여 추후의 활용에 대비하였다.

#### 2. ZVS 하프 브리지 컨버터의 동작원리

ZVS 하프 브리지 컨버터의 회로를 그림 1 에 나타내었다. 공진 커패시터  $C_A$  와  $C_B$  는 MOSFET의 접합 커패시터를 나타내며  $L_M$ 는 공진 인덕턴스이며 트랜스포머의 누설 인덕턴스 및 기생 인덕턴스를 포함한다. 또한  $C_A$  및  $C_B$  와  $L_M$  간의 공진 시점을 조절하기 위하여 양방향 스위치 S 를 트랜스포머 양단에 연결하였다.

ZVS 하프 브리지 컨버터는 5 개의 동작모드로 구성되며 각 모드 별 등가회로 및 각부의 파형은 그림 2 와 그림 3 에 나타내었다.

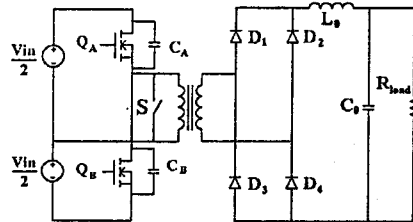


그림 1. ZVS 하프 브리지 컨버터

스위치  $Q_A$  가 off 되는 순간 보조 스위치가 S 가 on 되고 트랜스포머의 1차 권선에 흐르던  $I_o/N$  의 전류는 보조스위치를 통하여 순환되기 때문에 공진이 억제된다. ( $t_1 \sim t_2$ ) 스위치  $Q_B$ 가 on 되기 직전 보조 스위치를 off 시켜주면 보조스위치를 통하여 순환하던 전류  $I_o/N$  에 의하여  $C_A$ ,  $C_B$  와 누설 인덕턴스  $L_M$  사이에 공진이 발생하며 이에따라 스위치  $Q_B$  에 인가되는 전압은 0 V 가 된다. 이때 스위치  $Q_B$  의 body diode 가 on 되며 스위치  $Q_B$  의 전압이 0 V 이상으로 회복되기 전에 스위치  $Q_B$  를 on 시키면 영전압 스위칭을 행할 수 있다. 또

한 공진구간 ( $t_2 \sim t_3$ ) 이 전체 스위칭 구간에 비하여 상당히 짧기 때문에 전류 순환구간 ( $t_1 \sim t_2$ ) 만 제어하면 고정주파수 스위칭 특성을 얻을 수 있으며 컨버터의 동작이 기존의 PWM 하프 브리지와 유사하다.

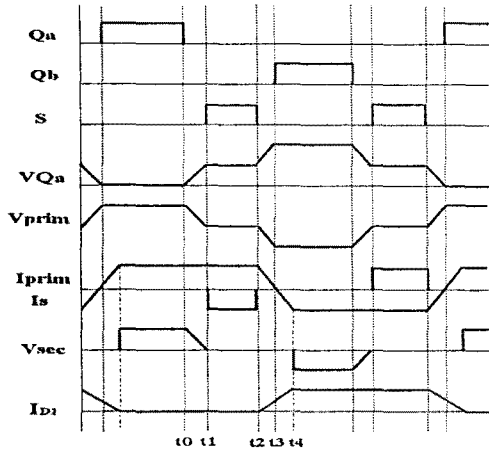


그림 2. ZVS 하프 브리지컨버터 파형

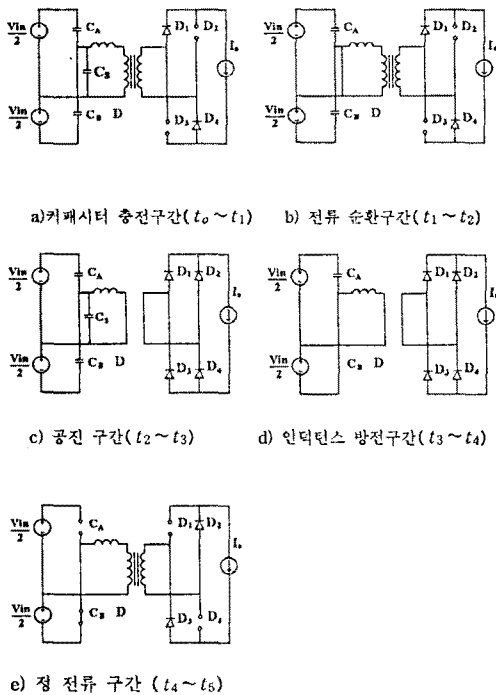


그림 3. 각 모드별 등가회로

보조 스위치가 off 되면 공진이 발생되고 이때 스위치  $Q_A, Q_B$  에 인가되는 전압과 1차 전류는 다음과 같다.

$$V_{Ca}(t) = \frac{V_s}{2} + \frac{I_o Z_N}{N} \sin \omega_o t \quad (1)$$

$$V_{Cb}(t) = \frac{V_s}{2} + \frac{I_o Z_N}{N} \sin \omega_o t \quad (2)$$

$$I_{pri}(t) = \frac{I_o}{N} \sin \omega_o t \quad (3)$$

여기서,  $\omega_o = 1/\sqrt{L_k C_r}, Z_N = \sqrt{L_k / C_r}$

또한 영전압 스위칭 조건은  $I_{prim}$  에 의하여  $L_k$  에 저장되는 에너지가  $C_A, C_B$  를 충분히 충전시킬 수 있어야 되므로 공진구간 ( $t_2 \sim t_3$ ) 에서  $C_B$  의 전압방정식에 의하여 다음과 같이 정해진다.

$$\frac{I_o Z_N}{N} \geq \frac{V_s}{2} \quad (3)$$

그림 4 는 ZVS 하프 브리지 컨버터의 시뮬레이션 파형이다.

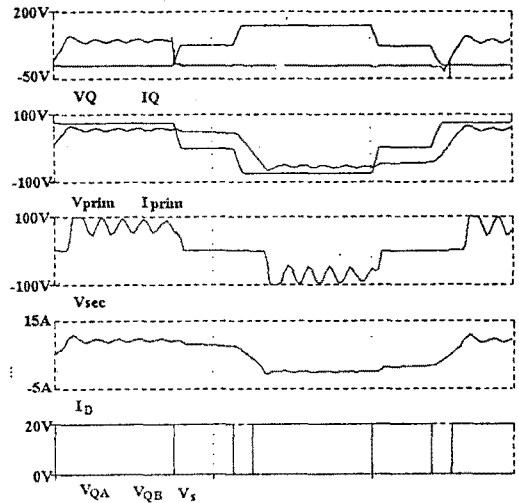


그림 4. ZVS 하프 브리지 컨버터 파형

ZVS 하프 브리지 컨버터는 유사 공진형 하프 브리지와 동일한 스위칭 동작을 행하기 때문에 환류 다이오드에서 링 현상이 발생한다. 또한 ZVS 하프 브리지 컨버터는 고정 주파수 스위칭

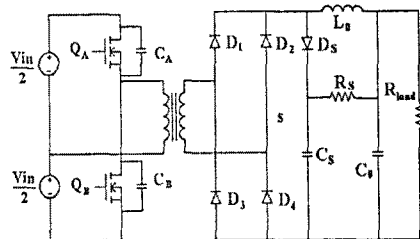


그림 5 전압 클램핑 ZVS 하프 브리지 컨버터

을 행하기 위하여 사용된 보조 스위치의 접합 용량  $C_s$  때문에 공진 커패시터의 용량이 유사 공진형 컨버터의 공진 커패시터의 용량보다  $C_s$  만큼 커지므로 ZVS 조건은 감소하게 되고 ZVS 조건을 증가하기 위하여 누설 인덕턴스를 크게하면 환류

다이오드에서의 링현상은 더욱 심각해진다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위하여 스너버 또는 클램핑 회로를 적용하거나 공진 에너지를 주입하는 방식을 적용해야한다. 그림 5 는 환류 다이오드에 클램핑 회로를 적용한 방식이며 이 방식은 환류 다이오드의 서지 전압을 효과적으로 흡수한다.

### 3. 시뮬레이션 결과

ZVS 하프 브리지 컨버터에 적용된 보조 스위치의 접합 커패시터가 영전압 조건에 어떤 영향을 미치는지 살펴보기 위하여 먼저 유사 공진형 하프 브리지 컨버터에서 영전압조건의 경계치 부근을 설정하고 이 조건을 사용하여 ZVS 하프 브리지 컨버터를 시뮬레이션하였고 ZVS 하프 브리지 컨버터에 전압 클램핑 회로를 첨가하였을 경우에 대하여 시뮬레이션하였다. 그림 6 은 부하전류가 7.2 A 일 때 유사 공진형 하프 브리지 컨버터 파형이며 그림 7 은 이 조건에서 ZVS 하프 브리지 컨버터의 파형이다. 이 파형에서 보조 스위치 접합 커패시터에 의하여 영전압 스위칭이 되지않음을 알 수 있고 이때 부하 전류를 증가시켜 부하전류가 8.7 A 에 도달하였을 때 영전압 스위칭이 일어남을 알 수 있다. (그림 8) 그림 9 는 ZVS 하프브리지 컨버터에 전압 클램핑 회로를 첨가하였을 때의 파형이며 환류 다이오드의 링 현상이 효과적으로 클램핑됨을 알 수 있다.

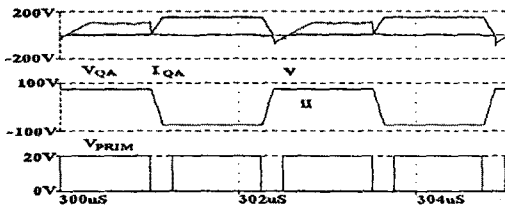


그림 6. 유사 공진형 하프 브리지 컨버터 파형

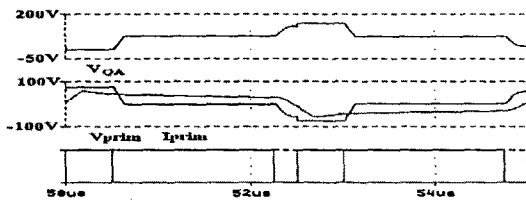


그림 7. ZVS 하프 브리지 컨버터 파형

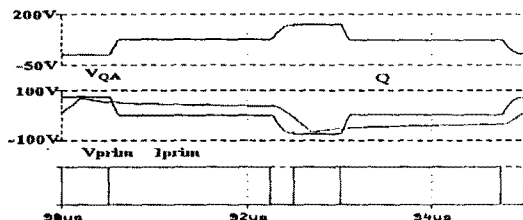


그림 8. 부하전류 증가시 ZVS 하프 브리지 컨버터 파형

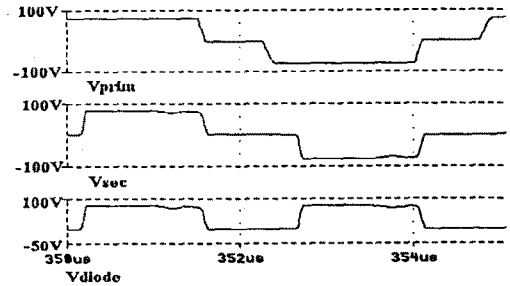


그림 9. 전압 클램핑 ZVS 하프브리지 컨버터 파형

### 4. 결론

본 논문에서는 보조 스위치를 사용하여 유사 공진형 하프 브리지 컨버터를 고정 주파수로 스위칭하는 방식에 대하여 분석 및 시뮬레이션을 행하였다. 이 topology 는 유사 공진형 컨버터의 장점을 유지하면서 고정 주파수 스위칭을 행할 수 있기 때문에 회로의 설계 및 제어가 용이하다. 그러나 이 topology 는 보조 스위치의 첨가에 의하여 공진 커패시터가 증가되어 결과적으로 유사 공진형 하프 브리지보다 영전압 스위칭 조건이 감소되며 또한 환류 다이오드에서 링 현상이 발생하기 때문에 이를 억제하기 위하여 스너버 회로나 클램핑회로를 첨가하여야 한다. 따라서 이 topology 를 효과적으로 활용하기 위하여 영전압 조건을 확장하는 방식 및 환류다이오드의 링현상을 효과적으로 억제 한 방식에 대한 연구가 필요하다.

### 참고 문헌

1. D.C. Hopkins, M.M. Jovanovic, F.C. Lee. "Two Megahertz off-Line Hybridized Quasi-Resonant converter" IEEE APEC PP 105-114, 1987
2. W.A. Tabisz, P.Gradzk, F.C. Lee. "Zero Voltage Switching Quasi-Resonant Buck and Flyback Converters. Experimental Results at 10MHz" IEEE. PESC. PP 404-413. 1987
3. M.M Jovanovic, W.A Tabisz, F.C. Lee "Zero Voltage Switching technique in high-frequency off-line converter," IEEE PESC PP 23-32, 1988
4. G. Hua , F.C. Lee "A New class of Zero Voltage Switched PWM' converter," HFPC pp 244-251, 1991
5. VPEC SEMINAR MANUAL , 1992