

# 300kHz ZVS Full Bridge PWM 컨버터에 관한 연구

주형준\*, 김의찬\*, 최재동<sup>o</sup>, 손승찬\*, 성세진\*

\*충남대학교, <sup>o</sup>한국항공우주연구소

## A Study on the 300kHz ZVS Full Bridge PWM Converter

H.J Joo\*, E.C Kim\*, J.D Choi<sup>o</sup>, S.C Son\*, S.J Seong\*

\*Chungnam National University, <sup>o</sup>Korea Aerospace Reserch Institute

### Abstract

This Paper is concerned on developing DC-DC converter using ZVS-FB-PWM Converter. The converter output is 28V and regulated by phase shift control methode. MOSFET is used by the main switching device and high frequency transfoemer is made for operating at 300kHz switching frequency. When the load vary widely, converter's ZVS characteristic is expressed by experiment result.

키는 방법과 자기스너버를 연결하는 방법등을 사용하고 있다.

이러한 스위칭 장치에서 사용되고 있는 IGBT는 MOSFET에 비해 더 낮은 가격과 높은 전압을 갖는 고전력밀도 시스템을 구성할수 있어 대용량에서는 IGBT를 이용한 스위치가 주종을 이루고 있다. 그러나 1kW급이하에서의 고주파 동작시 IGBT의 꼬리 전류에 의한 턴오프 손실이 커지기 때문에 사실상 사용하기가 어렵다. 따라서 최근에 IGBT를 고주파로 동작시키기 위해 ZV-ZCS를 이용한 FB-PWM컨버터가 활발히 연구되고 있다.

### 1.서론

최근 스위칭 전원 장치의 구성에 있어서 소형, 경량, 저가화등이 요구되어지고 있다. 따라서 전원장치의 소형화를 위해 동작주파수를 고주파화하여 트랜스포머와 인덕터의 크기를 줄일 수 있고, 또한 같은 크기 아래서 스위칭으로 인한 파형의 왜곡이 작아지므로 그 성능이 개선되기도 한다. 그러나 스위칭 소자들이 갖는 기생요소들에 의해 고주파로 인한 스위칭 손실이 증가하게 되고 스위칭에 의한 노이즈 등이 나타나는 결과를 갖게 된다. 이러한 스위칭 손실 및 노이즈를 줄이기 위하여 R-C 및 L-C 스너버 회로를 일차측에 연결하여 에너지를 입력측으로 다시 회생시

본 논문에서는 고속 스위칭시 스위치에서 발생하는 문제점을 개선하기 위해 1kW급 이하 ZVS-FB-PWM컨버터에 턴오프 손실이 IGBT에 비해 상대적으로 좋으며 고속스위칭에 적당한 MOSFET를 이용, 턴오프시 영전류 스위칭이 될 수 없는 조건에서 손실측면을 고려한 300kHz ZVS-FB-PWM컨버터를 제안하였다. 제안된 컨버터는 300kHz, 100W의 용량을 갖는 스위칭 전원장치로서 일차측과 이차측간의 신호를 고주파 트랜스포머를 이용하여 절연하여 1차측 신호가 2차측에 손실이 거의 없이 전달되게 하였고 이러한 특성은 전체 시스템의 부피의 경량화를 이루게 되었다. 또한 제안된 회로의 동작원리와 특징이 설명되었고, 시뮬레이션과 ZVS-FB-PWM 컨

버터회로의 Prototype제작 실험을 통해 결과를 확인하였다.

## 2.본론

### 2.1 ZVS-FB-PWM 컨버터의 동작원리

그림 1과 2에서 보여지는 ZVS-FB-PWM 컨버터의 기본동작을 살펴보면 그림 2에서처럼 주 스위치가 영전압에서 턴온되며, 주 스위치 MOS1과 MOS3의 스위칭 시그널은 고정시킨 상태에서 MOS2와 MOS4의 스위칭 시그널을 의도적으로 위상이동하여 듀티사이클을 변화하여 출력을 제어하게 된다.

이 위상이동으로 스위칭 소자의 출력 캐패시터와 변압기의 누설 인덕턴스사이의 공진을 위상이동시킨다. 이 공진으로 인해 다음에 턴온하는 스위칭 소자의 출력캐패시터를 방전시켜 영전압 상태를 유지하게 되어 스위칭 손실을 줄일 수 있게 된다.

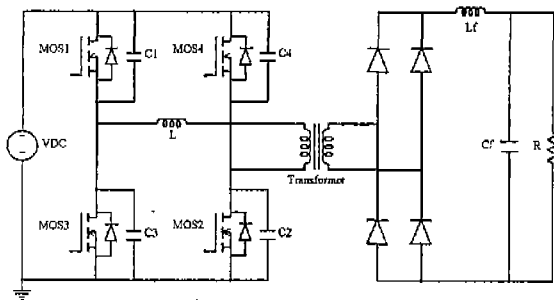


그림 1. FB ZVS PWM 컨버터 주회로도

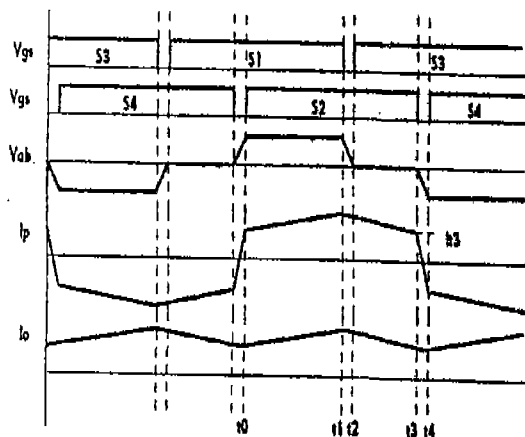


그림 2. 이상적인 동작파형

그림 3에는 스위칭 신호에 의한 각 모드에 대한 등가회로가 나와있다.

### 모드 0.

MOS1과 MOS2가 도통하고 전력이 출력측에 전달된다. 이 때 전류가 선형적으로 증가한다.

### 모드 1.

MOS1이 턴오프 되고 일차측을 흐르는 전류는 MOS1의 출력 캐패시터 C1을 충전시키고 MOS3의 출력 캐패시터 C3를 방전시킨다. 공진인덕턴스와 C1, C3가 공진하여 Vc1을 상승시킨다. MOS1이 턴오프 시의 1차측전류는 2차측에서 반사된 전류이고, Vc1이 입력전압과 같아지면 다이오드 D3가 도통하기 시작한다. MOS1 턴오프시 2차측 필터 인덕터가 충분히 크기 때문에 스위치 MOS3의 ZVS 수행이 쉽게 이루어진다.

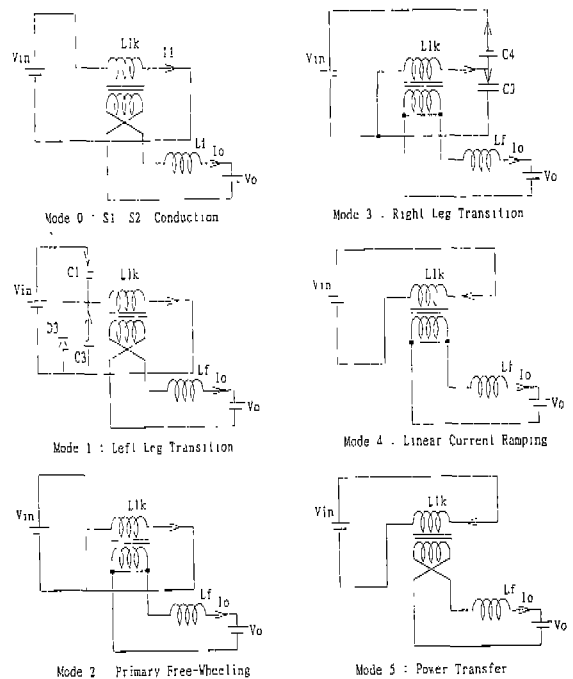


그림 3. 각 모드별 등가회로

### 모드 2.

이 구간에서는 입력전압 Vi가 출력단과 분리되어있다. 1차측전류는 D3와 MOS2를 통해 순환하게 된다. D3가 도통시 MOS3를 턴온시키면 MOS3의 ZVS가 가능하다. 1차측 전압은 영전압

으로 클램핑되며 1차측 전류는 감소하게 된다.

**모드 3.**

MOS2를 턴오프한다. 누설인덕턴스에 저장되어진 에너지가 C2를 충전시키고 C4를 방전시킨다. 즉 누설인덕턴스와 C2, C4가 공진하여 Vc4를 감소시킨다. 이 구간은 모드 1과는 달리 누설인덕턴스에 저장된 에너지만으로 Vc4를 감소시킬만큼 충분히 커야한다. Vc4가 영이되고 나서 누설인덕턴스 전류가 적당한 값을 유지하여야 D4의 도통이 보장되고 MOS4의 ZVS가 보장된다.

**모드 4.**

D3와 D4가 도통하는 구간이다. Vc4가 영전압이므로 MOS4를 턴온시 ZVS가 수행된다. 즉 누설인덕턴스에 저장된 에너지가 소스측으로 환원된다.

**모드 5.**

변압기 1차측 전류가 영이 된 후 턴온되어 있는 MOS3와 MOS4를 통해 음의 값으로 감소하기 시작한다.

다음의 구간들은 위의 동작과 대칭적으로 동작한다.

**2.2 구동회로**

그림 4에 본문에서 사용된 주회로의 MOSFET를 고주파로 구동하는 드라이브회로가 보여진다. MOSFET를 하프브릿지 방식으로 TTL(74HC04)의 출력으로 구동한다. 제어회로와 드라이브회로간의 절연은 Pulse-transformer에 의해 이루어진다. 이것 때문에 drive회로에는 각 레그에 절연전원이 필요하게 되지만 드라이브회로를 MOS

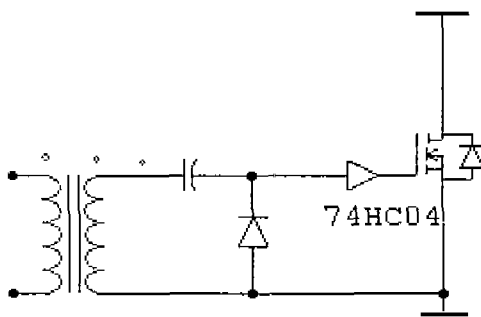


그림 4. 드라이브회로

FET의 Gate와 Source사이의 단자에 직접 접속하고 드라이브회로의 출력과 MOSFET Gate간의 거리를 단축시킨다.

통상적으로 드라이브의 출력과 주회로스위치 MOSFET 사이에는 배선인덕턴스와 MOSFET 입력용량의 공진을 감소시키기위한 덤핑 저항을 삽입하지만 그림 4의 drive출력은 직접 MOSFET의 Gate에 접속한다. 이것은 드라이브 출력과 MOSFET Gate 단자사이의 인덕턴스가 감소되고 드라이브 회로의 온저항에 있어 큰 덤핑 저항이 얻어지기 때문이다. 즉 덤핑 저항을 제거함에 의해 MOSFET의 입력용량을 고속으로 충방전이 가능하게 한다. 따라서 고주파용 드라이브회로로서의 조건을 만족하게 한다.

**2.3 영전압스위칭의 조건.**

왼쪽 레그의 경우 2차측 필터 인덕터에 저장된 에너지가 충분히 크므로 C1과 C3의 충방전과 D1과 D3를 도통하기에 충분한 전류가 1차측으로 흐름으로 넓은 영역의 ZVS 스위칭범위를 갖는다.

오른쪽 레그의 경우 누설인덕턴스에 저장된 에너지만으로 ZVS를 수행하여야 함으로 누설 인덕턴스에 저장된 에너지가 스위칭 소자의 출력 캐패시터와 변압기 권선 캐패시터에 저장된 에너지합보다 커야하는 다음과 같은 조건이 따른다.

$$\frac{1}{2} L_{lk} I_2^2 > \frac{4}{3} C_{MOS} V_{in}^2 + \frac{1}{2} C_{TR}^2 I_{in}$$

오른쪽 레그의 변환구간에서 ZVS를 이루기 위해서는 Vc2의 전압과형의 공진 최대값이 입력전압보다 크던지 Vc4의 전압이 영이 된 후 D2가 도통하면 ZVS를 이룰수 있다.

$$V_{\phi} = Z_r I_2 \sin \omega_n$$

윗 식에서 알수있듯이 오른쪽 레그의 경우 ZVS는 임계부하전류 이상일때만 이루어진다.

이 임계값은 다음 식으로 얻어진다.

$$I_{crit} = \sqrt{\frac{2}{L_{lk}} \left( \frac{4}{3} C_{mos} V_{in}^2 + \frac{1}{2} C_{TR} V_{in}^2 \right)}$$

결국 ZVS는 다음과 같은 부하전류에서 이루어진다.

$$I_2 > I_{crit}$$

또는

$$I_{2load} > \frac{N_p}{N_s} I_{crit} - \Delta \frac{I}{2} + \frac{V_{out}}{L_f} (1-D) \frac{T}{2}$$

즉 경부하시 공진전압이 입력전압에 미치지 못하고 중부하시는 입력전압에 클램핑되어 영전압스위칭을 이루게 된다.

회로의 입출력 이득은 다음과 같이 간략히 표현된다.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{N_s}{N_p} D_{eff}$$

$$D = D_{eff} \left( 1 + 4 \frac{L_{lk}}{R'} f_s \right)$$

$$V_o = \frac{N_s}{N_p} \frac{D}{1 + 4 \frac{L_{lk}}{R'} f_s} V_i$$

### 3. 시뮬레이션 결과.

본 논문의 ZVS-FB-PWM 컨버터를 모델링하기 위해 시뮬레이션에 사용된 MOSFET는 바다다이오드와 출력 캐패시터만을 고려한 이상적인 스위치로 가정하였다.

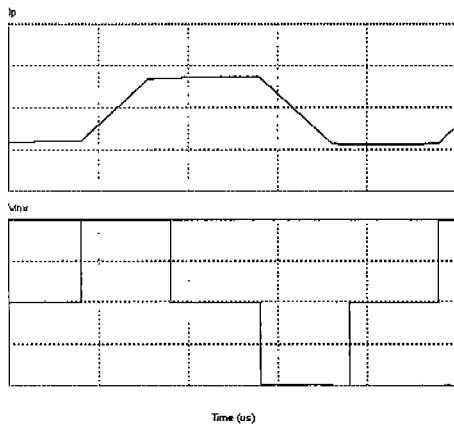


그림 5. 시뮬레이션결과  
(일차측 전압 전류)

### 4. 실험 결과

(설계사양)

입력전압 : DC 200 [V]

출력전압 : DC 28 [V]

출력전류 : DC 4 [A]

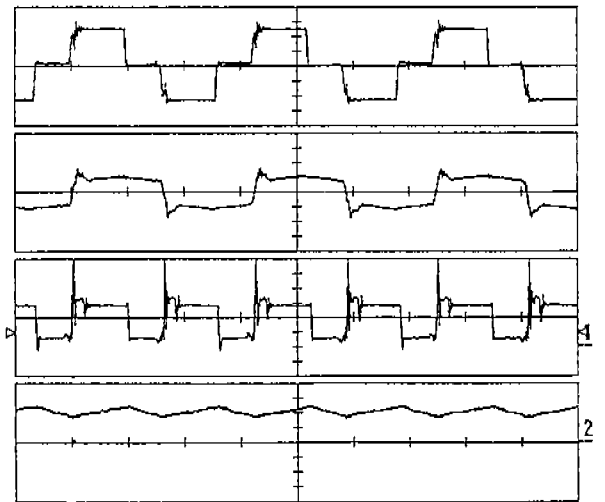
주스위치 : MOSFET(IRF 840)

동작주파수 : 300kHz

사용전압은 단상 220V와 가변유도 전압조정기로 입력전압을 제작하였고 위상제어 콘트롤러인 ML4818을 이용하여 스위칭 파형을 만들고 전압을 센싱하여 출력을 레귤레이션 하였다.

그림 6에 부하 변화시 변압기 일차측의 전압과 전류가변에 따른 1차측 변압기의 전압과 전류 파형, 이차측의 전압과 전류 파형을 부하가 25%에서부터 100%의 변화하는 파형의 결과를 나타내었다.

이 실험결과에서 25% 이하의 경부하에서는 변압기 일차측 전압은 입력전압에 클램핑되지 못하여 a)의 20%의 경부하에서 ZVS가 수행되지 않았고, 그림 (b)와 (c) (d)의 50%부하 이상에서는 입력전압에 클램핑하여 ZVS가 수행됨을 확인하였다.



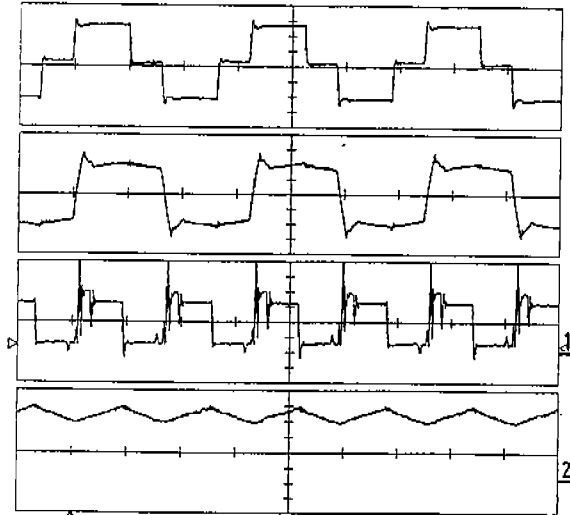
(a) 25%부하시 변압기 1차측 양단전압,전류

## 5. 결론

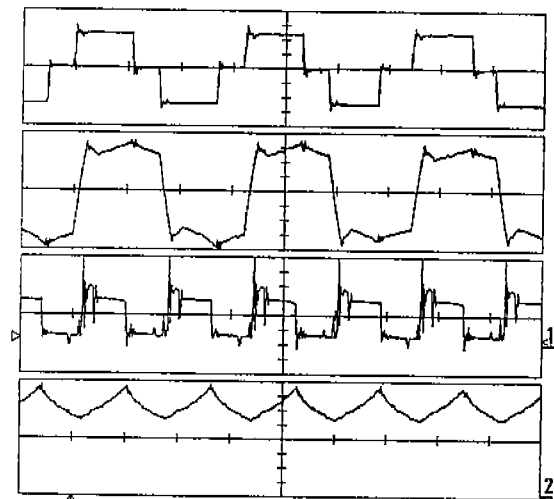
본 논문에서는 기존의 ZVS-FB-PWM 컨버터 동작을 300kHz까지 고주파화하여 소형 경량을 갖는 28V, 100W의 출력을 갖는 300kHz FB-ZVS-PWM DC-DC 컨버터를 연구하였다. 컨버터의 ZVS 수행여부가 부하변화의 함수임을 실험을 통해 확인하였다. 향후 1MHz이상의 ZVS-FB-PWM 컨버터 개발시 고속스위칭을 위한 파워 디바이스와 새로운 방식의 구동회로의 연구가 절실히 요구되어진다.

### 참고문헌

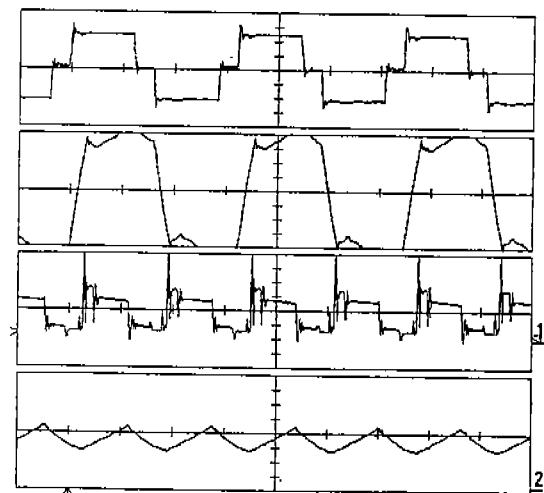
- [1] J.A. Sabate, V.Vlatkovic, R.B.Ridley, F.C.Lee, B.H.Cho, "Design Consideration for High-voltage, High-Power, Full-Bridge, Zero-Voltage-Switched PWM Converter", 1990, APEC
- [2] Richard Redl, Nathan O, Sokal, Laszlo Balogh, "A Novel soft-switching Full-Bridge DC/DC Converter: Analysis, Design Considerations, and Experimental Results at 1.5kW, 100kHz", 1990, IEEE
- [3] 김희준, "소프트 스위칭 방식에 의한 스위치 모드 파워서플라이" 1997, 전기학회지
- [4] C. Cuadros, C.YLin, D.Boroyevich, R.Watson, G.Skutt and F.C.Lee, "Design Procedure and Modeling of high Power, High performance, Zero-Voltage Zero-Current Switched, Full-Bridge PWM Converter" 1997 IEEE
- [5] Jung G. Cho, Guichao Hua and Fred C. Lee, "Zero-Voltage and Zero-Current-Switching Full Bridge PWM Converter for High Power Applications", 1994 IEEE



(b) 50%부하시 변압기 1차측의 양단전압,전류



(c) 75%부하시 변압기 1차측 양단전압,전류



(d) 100%부하시 변압기 양단전압,전류

그림 6. 부하가변에 따른 ZVS수행특성