

ZVT방식 고주파 DC-DC 컨버터 개발에 관한 연구

계 문호 조 기연 * 홍 성 철 **김 성 철
(한국 전기 연구소 *수영 전기 ** 경남대학)

A study on the ZVT method of high frequency DC-DC converter.

Moo-ho, Kye Kee-yeon, Joe * Sung-chul, Hong ** Sung-chul, Kim
(KERI, *Soo-young Elec. Co., ** Kyungnam Uni.)

초록 (Abstract)

It is important to have the switching frequency of power supplies increase in order to reduce their size and weight. But according to increasing the switching frequency, there are several defects - that is switching losses, high voltage/current stresses and conduction losses and so on. That's why soft switching method was proposed.

This paper presents the simulation and analysis of the new proposed Full bridge Zero-Voltage-Transition PWM DC-DC converter for developing that unit. This circuit doesn't increase the voltage and current stresses of main MOSFET switches. Voltage type quasi-resonant method is applied and expected high efficiency. Switching frequency is 100KHz and main switches are MOSFET.

1. 서론

전원 공급 장치의 무게와 크기를 줄이기 위하여 적용되는 종래의 고주파 PWM 스위칭 방식은 스위칭 주파수가 상승함에 따라서 스위칭 손실이 증가하게 되며, 이를 감소시키기 위하여 ZVS, ZCS 등의 여러가지의 soft switching 기법들이 제안되었다. 그러나 이러한 기법들은 스위칭 손실이 줄어드는 대신에 주소자의 전류 집속도가 커져 전압 Stress가 커지며, 특히 공진 조건이 부하에 따라 많은 영향을 받는 등 여러가지 결점이 지적되고 있다.

ZVS 형 준공진 컨버터(QRC)의 주소자는 고주파 PWM 방식에 비해 상대적으로 낮은 전류 stresses를 받으나[1], Single-ended ZVS-QRC 인 경우 주소자가 부하 범위에 비례하는 과도한 전압 스트레스를 받는다[2,3]. 또한 정류 Diode의 기생 집합 캐패시턴스 성분은 변압기의 누설 인덕터와 상호 작용하여 심각한 스위칭 진동 노이즈를 발생시킨다[4].

ZVS multi-resonant converter(MRC)기법은 주 회로단의 모든 주요한 기생성분들을 이용하는데, ZVS-MRC의 모든 전력용 반도체 소자들은 스위칭 손실과 스위칭 노이즈가 대폭 줄어드는 ZVS 방식으로 동작된다. 그러나 ZVS-MRC 방식의 Active 와 Passive 소자들은 PWM 방식들의 전압/전류 스트레스보다 큰 스트레스를 받으며, 스위칭 손실은 줄일 수 있지만 도통손실이 크게 증가한다. 고주파 스위칭으로 인한 리액터들(변압기와 필터들)의 크기가 작아지나 변압기와 크기가 비슷한 정도로 큰 공진 인덕터가 필요한데, 이 공진 인덕터는 여분의 동손과 철손을 유발시킨다. ZVS Quasi-Square-wave 컨버터(QSC) 기법은 전압 스트레스가 증가되지 않으면서 모든 스위치에서 ZVS 기능을 갖는다[1]. 이 방법은 Power MOSFET가 적용되는 고주파 전력 변환 회로에서는 매우 바람직스러운 기능이다. 왜냐하면 전력용 MOSFET는 ZVS 동작 모드가 유리하고 도통 특성은 주로 전압의 정격에 의존하기 때문이다. 그러나 ZVS-QSC 방식은 PWM 방식의 것과 비교해보면 두 배 이상의 높은 전류 스트레스를 받으며 따라서 도통손실이 크게 증가한다. 또 주소자에서는 큰 Turn-off 전류 때문에 Turn-off 손실이 증가하게 된다. 이 점들은 전력용 소자로서 소수 캐리어 전력용 반도체소자인 IGBT, BJT를 사용할 때 특별한 주의가 필요하다.

본 연구에서는 새로이 제안되고 있는 ZVT PWM 컨버터 방식을 분석, 설계하여 통신용 정류기의 주회로로 적용하고자 하는데, 주요개념은 주소자와 병렬로 공진회로를 이용하여 주소자에 전압/전류 스트레스를 야기시키지 않으며, 부하의 변동에 큰 영향을 받지 않는 DC-DC 컨버터에 관하여 ZVS topology를 제안하고자 한다.

2. 본론

2-1 동작 특성 고찰

그림 2-1은 Full Bridge ZVT-PWM 컨버터 회로와 그 게이트 구동 신호를 보인다. 이 회로에서 Sa와 Sb는 보조 스위치이고, Da와 Db는 보조 다이오드이다. 두개의 Half-bridge들은 완전히 대칭적인 동작을 하며, 두개의 대각선에 있는 주소 스위치가 도통하고 있을 때, Bridge의 아랫단 스위치(S2, S3)는 항상 먼저 Off 된다.

같은 Bridge 내 윗단의 스위치는 출력 필터용 인덕터의 전류가 1차측에 반영되어 공진 콘덴서를 방전시키면 ZVS 조건이 얻어진다. 그러나 토폴의 Bridge 아랫단 스위치는 자신이 Turn-on 하기 전에 공진 콘덴서내에 저장된 에너지를 보조 공진 네트워크를 통해서 입력 전원으로 전달하므로써 ZVS 조건이 얻어진다. 그림 2-2는 회로의 동작 특성을 구간별로 나타내었다.

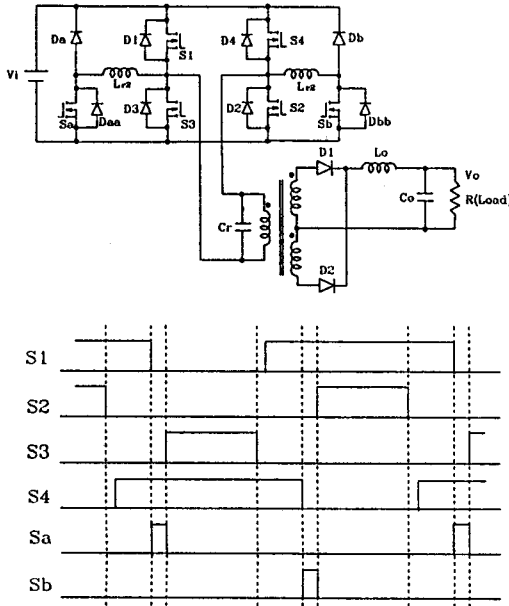


그림 2-1 FB ZVT-PWM Converter의 회로 및 게이트 파형도

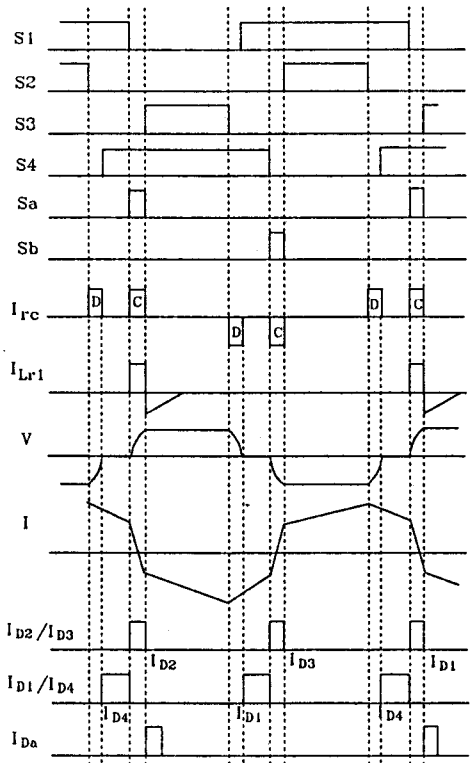


그림 2-2 ZVS 동작 모드와 각부의 파형

아랫단의 보조 스위치는 Cr과 Lr에 의한 공진 주기의 반에서 스위치 On 시간을 갖으며, 이때 S3와 S2는 ZVS 특성을 갖는다. 즉,

$$T_d = L \cdot i / V + \pi \sqrt{LC} \text{ 이다.}$$

본 장치의 주요 특성은 다음과 같다.

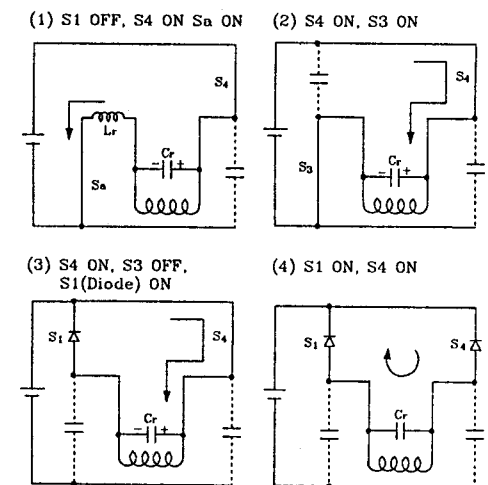
- 1) 주전력의 토폴에 공진 인덕터가 없으므로 순환 에너지가 대단히 작아진다.
- 2) 2차측의 Ringing이 심각하지 않다.
- 3) 정류 다이오드의 Soft-switching이 얻어진다.
- 4) 부하 변동에 관계없이 ZVS 조건이 얻어진다.
- 5) Transformer의 제작상 누설 자속이 발생하며, 2차측의 다이오드 접합 Capacitance 성분과 기생 공진을 발생시킨다.
- 6) 여분의 MOSFET가 요구된다.

2-2. Simulation

Pspice design center로 simulation을 하였고 장치의 동작 특성을 분석하여 주회로부 설계에 활용하였다. 시뮬레이션 조건은 표 1과 같다.

표 1 시뮬레이션 조건들

Cr	20~100nF	Lr	0.4~2uH
f	100KHz	Vi	250V
Pwa, Pwb	0.48uS	Pws1, Pws4	6.48uS
Pws2, Pws3	2.48uS	Dead time	0.48uS
Lo	3uH	Co	3uF
Vo	48V	Load	1~50ohm



- (1) 구간 1 : S3의 ZVS 조건을 만들며 Cr은 충전
- (2) 구간 2 : 2차측으로의 에너지 전달
- (3) 구간 3 : 2차측의 에너지가 1차측으로 유입되어 S4의 ZVS조건을 만든다.
- (4) 구간 4 : S4는 ZVS로 On 되고, S1은 Off, Sa가 Turn on되어 다음 Bridge가 시작됨

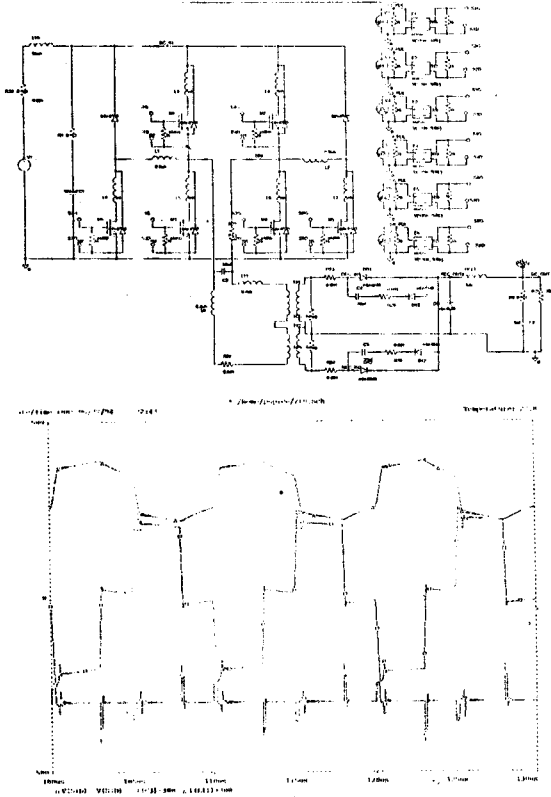


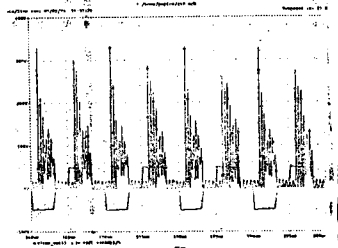
그림 2-3 시뮬레이션 회로 및 트랜스 1차측 전압 및 전류 파형

위 시뮬레이션에서 알 수 있듯이 회로의 정상 동작은 Cr과 Lr 및 FET 출력 Capacitance 성분과 Transformer의 누설 인덕턴스 성분등의 조합에 의하여 주어진다. 즉 Cr의 증가는 Cr의 충전 전류를 증가시켜 출력측의 에너지 전달을 줄이며, Lr의 증가는 순환 에너지를 증가 시키며, Transformer 1차측 누설 인덕턴스의 증가는 1차 전류의 기울기를 느슨하게 하여 회로내에 무효 전력분을 증가시키고 2차측으로 유기되는 전압의 강하를 초래한다. 2차측의 Ringing을 감소시키기 위하여 트랜스퍼머의 누설 자속을 최소화하는 것이 바람직하다. 트랜스퍼머의 누설 자속이 충분히 작다면 2차측의 접합 Capacitance 성분은 1차측에 반영되어 공진 콘덴서의 일부분으로 될 수 있다.

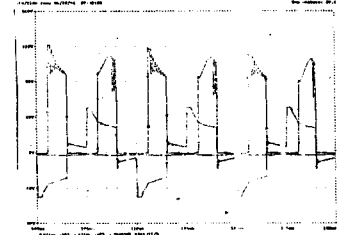
Transformer의 2차측 누설 인덕턴스 성분과 정류 FRD의 접합부의 공진에 의하여 2차측에 기생 발진 현상이 발생하며, 이는 Peak 전압을 발생시켜 FRD의 PIV가 큰 것을 요구하게 한다. 따라서 이 Peak 전압을 억제하면서 스너버에 의한 손실을 줄여 장치 효율을 높이기 위하여 2차측 에너지의 리커빙이 가능한 스너버의 설계가 요구되며, 그림 2-4는 시뮬레이션을 통하여 본 Transformer 2차측 파형이다.

파형에서 보는 바와 같이 Peak 값은 없어지고 양호한 파형이 얻어진다. 한 쪽 Pulse 전압 Peak에 의하여 캐패시터에 충전된 에너지는 표시된 두 경로를 통하여 Pulse들의 휴지기간 동안 회로를 돌면서 Peak 전압값을 에너지로 환산시킨다.

따라서 낮은 값의 PIV를 갖는 FRD를 사용하므로써 FRD의 순방향 전압 강하가 낮은 것을 선택할 수 있으며 장치의 효율 향상을 기할 수 있다.



(가) 스너버 없는 파형



(나) 스너버 부가 파형

그림 2-4 Transformer 2차측 파형 비교

3. 결론

Voltage type quasi-resonant ZVT PWM 방식을 적용하여 Full Bridge Type으로 DC-DC 컨버터를 분석/설계하였다. 비록 여분의 MOSFET가 추가되지만 주 전력의 통로에 공진 인덕터가 없어 순환 에너지가 매우 작고, 또한 부하에 관계없이 ZVT 특성을 유지할 수 있는 등의 장점을 나타내었다. 본 분석을 토대로 DC-DC 컨버터를 제작할 것이며, 본 장치는 고주파 스위칭인 관계로 실험 장치 제작시에는 노이즈 차단등을 고려하여야 한다. 시뮬레이션에서 알 수 있듯이 트랜스퍼머의 누설 자속을 최소화하는 방안과, 스위치들의 ZVS 동작을 확보하기 위한 스위칭 관계 등을 설정하여야 하며, 장치의 대용량화(48V 200A : 10KW)를 위하여 회로의 병렬 운전 대한 방식 정립 및 보호 회로의 부가등을 보완하여 향후 통신용 정류 장치로 활용될 것이다.

4. 참고 문헌

1. K.H.Liu, F.C.Lee "Zero-Voltage Switching technique in dc-dc converters" IEEE Power Electronics Specialists Conf. Rec., 1986 pp. 58-70
2. F.C.Lee, W.A. Tabisz, "Zero-Voltage Switching multi-resonant technique - A novel approach to improve performance of high-frequency quasi-resonant converters," IEEE Power Electronics Specialists Conf. Rec., 1988 pp. 9-17
3. G.C.Hua, C.S.Leu, Y.M.Jiang, and F.C.Lee, "Novel Zero-Voltage -Transition PWM converter" The VPEC tenth annual power electronics seminar, 1992, pp.33-39
4. Bob Mammano, "Resonant Mode Converter Topologies" Unitrode Switching Regulated Power Supply Design Seminar Manual, 1990, Unitrode Cor. p3-1~p3-12