

액티브 스너버를 이용한 고주파 용접기 컨버터 개발

신준영*, 최승원*, 이재민**, 이준영*
명지대학교 전기공학과*, 현대중합금속(주)**

Development of converter for high frequency welding machines using active snubber

Jun Young Sin*, Seung Won Choi*, Jae Min Lee**, Jun Young Lee*
Department of Electrical Engineering, Myongji University, Hyundaiwelding Co., Ltd.

ABSTRACT

용접기는 3상 교류 입력을 받아 정류기를 거쳐 DC/DC 컨버터를 통하여 저전압, 대전류의 출력을 이용하여 금속 재료를 용접한다. 기존의 용접기는 대용량 시스템으로 IGBT를 이용하여 주파수가 낮은 범위에서 사용되므로 변압기 등 시스템 크기가 매우 크다. 본 논문에서는 고주파화를 통하여 용접기의 크기를 줄이는 것이 목적으로 용접기의 구성 중 브리지 다이오드로 구성된 간단한 구조인 입력 AC/DC부를 제외한 인버터, 변압기, 정류기, 출력 인덕터를 포함하는 DC/DC 컨버터를 설계하고 실험 검증하였다.

1. 서 론

일반적인 아크 용접기용 전원은 저전압, 대전류 출력(출력 전압 20~80[V], 출력 전류 200~2000[A]정도)이 필요하게 된다. 산업용으로 가장 생산 수량이 많은 10~30[kW] 정도의 용접 전원으로는 용량·비용면에서 MOSFET의 사용이 어려워 IGBT를 이용한 10~20[kHz] 정도의 하드 스위칭 인버터 방식이 일반적이다.^[1] 하지만 용접 전원의 소형·경량화를 위해 스위칭 주파수를 높여 변압기 및 출력 인덕터의 크기를 줄이고 효율 향상을 위한 소프트 스위칭 기법 사용 및 2차 정류기에 쇼트키 다이오드를 사용하기 위해 다이오드 차단전압의 Ringing 전압을 제한해 줄 수 있는 액티브 스너버를 사용하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 제안된 직렬구조 Full-Bridge Converter

입력 전압 DC 600V를 MOSFET을 사용하기 위해 그림 1의 회로도와 같이 2개의 Full Bridge를 직렬로 만들어 각각 하나의 Full Bridge에는 300V의 전압이 인가된다. 이때 2개의 300V 전원의 부하 전력 소비가 동일하지 않기 때문에 전압 불균형 상태가 되는 것을 방지하기 위하여 4개의 MOSFET을 이용한 전압균형회로를 사용한다. 전압균형회로는 20kHz의 스위칭 주파수를 가지며 불균형 상태의 전압을 상쇄하도록 상위 300V Full Bridge와 하위 300V Full Bridge를 전압균형회로에 있는 Cell Balancing Capacitor에 의해 에너지를 상호 교환하여 전압 균형 상태를 유지해 준다. 이러한 회로를 채택하여 높은 입력 전압을 사용하여도 2개의 Full Bridge로 전압을 분배하므로 IGBT에 비해서 내전압은 낮지만 스위칭 주파수가 더 높은

MOSFET을 사용할 수 있다는 장점이 있으며 전하의 이동만을 담당하므로 작은 MOSFET으로 회로 구현이 가능하고 Open loop 제어방식으로 제어가 간단하며 비교적 낮은 주파수의 고정 시비를 동작으로 손실이 작다.

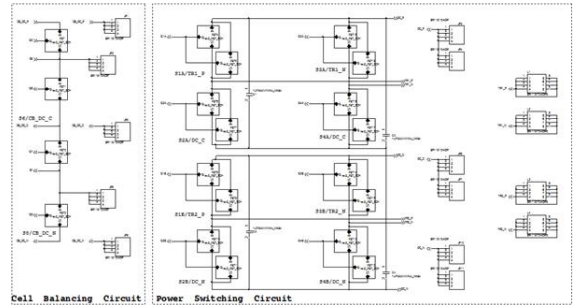
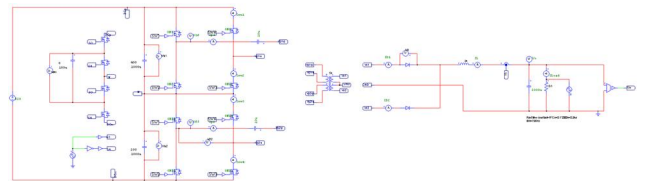
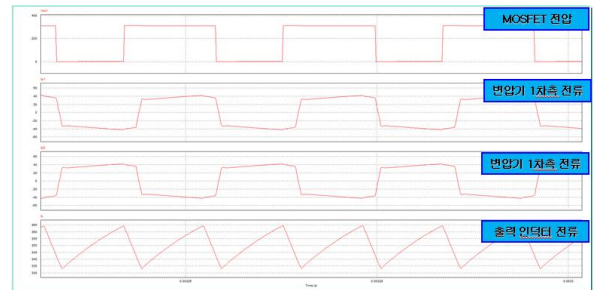


그림 1 전압균형회로와 직렬구조의 Full-Bridge 회로도
Fig. 1 Cell-Balancing circuit and Full-Bridge circuit



a) 시뮬레이션 회로도



b) 시뮬레이션 각 부 파형

그림 2 제안한 DC-DC Converter 시뮬레이션
Fig. 2 Simulation for Proposed DC-DC Converter

기존 용접기의 하드스위칭으로 인한 스위칭 손실을 줄이기 위해 소프트 스위칭 기법을 사용하였다. ZVS는 Freewheeling이 끝나는 시점에 도통되는 스위치가 누설 인덕턴스의 에너지로 영전압 스위칭을 하므로 큰 누설 인덕턴스가 필요하다. 누설

인덕턴스를 키우면 ZVS는 용이하나 유효시비율의 감소로 변압기 권선비가 낮아져야 하므로 스위치의 전류 스트레스가 증가하기 때문에 이러한 부분들을 고려하여 최적의 값을 도출하는 것이 필요하다. 하지만 큰 누설 인덕턴스는 2차 정류기의 Ringing 증가로 인한 쇼트키 다이오드 사용에 제한이 생길 수 있어 누설 인덕턴스는 최대한 작게 하고 1차 측에 인덕터를 추가하여 ZVS가 용이하도록 설계하였다.

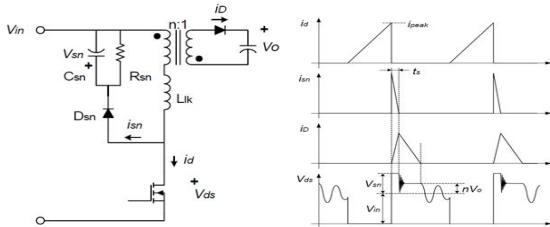


그림 3 Flyback DCM 액티브 스너버
Fig. 3 Flyback DCM Active Snubber circuit

변압기와 2차 정류기 부분은 Center Tap 구조를 채택하였고 효율 향상을 위해 쇼트키 다이오드를 사용하였다. 쇼트키 다이오드는 일반 다이오드보다 역전압 내압이 낮기 때문에 다이오드 차단전압의 Ringing 전압을 제한하기 위하여 변압기의 누설인덕턴스를 최대한 작게 설계하고 액티브 스너버를 이용하였다.

기본적으로 스너버는 다이오드에 역방향 전압이 걸릴 때 발생하는 Ringing 에너지를 스너버 커패시터로 저장하고 순방향 전압일 때 저장된 에너지를 저항에서 열로 소비한다.

스너버 전압 V_{sn} 이 일정하다고 가정하면 스위치 off 시 C_{sn} 에 유입되는 전력은 식 (1)과 같고 V_{sn} 에 유입되는 전력을 저항을 통해 소모해야 하므로 스너버 저항 값은 식 (2)와 같은 관계가 형성된다. 유효 저항 R_{eff} 는 식 (3)과 같으며 같이 나타낸 액티브 스너버의 입출력 관계로부터 시비율 D_a , 턴비 n_a , 인덕턴스 L_m 등을 결정한다. C_{sn} 의 전압 리플은 식 (4)와 같으며 5~10%정도가 적절한 값이다.

$$P_{sn} = V_{sn} i_{peak} \frac{t_s}{2} f_s = \frac{1}{2} L_{lk} i^2 C_j (t_x)^2 \left(\frac{V_{sn}}{V_{sn} - V_{ss}} \right) f_s \quad (1)$$

$$P_{sn} = \frac{V_{sn}^2}{R_{sn}}, \quad R_{sn} = \frac{V_{sn}^2}{\frac{1}{2} L_{lk} i^2 C_j (t_x)^2 \left(\frac{V_{sn}}{V_{sn} - V_{ss}} \right) f_s} \quad (2)$$

$$R_{eff} = \frac{(V_{\infty}/2)^2}{2P_{sn}}, \quad \frac{V_{\infty}/2}{V_{sn}} = \frac{D_a}{n_a^2 \sqrt{R_{eff} T_{sa}/2L_m}} \quad (3)$$

$$C_{sn} = \frac{\Delta V_{sn}}{T_s} = \frac{V_{sn}}{R_{sn}}, \quad \Delta V_{sn} = \frac{V_{sn}}{C_{sn} R_{sn}} f_s \quad (4)$$

3. 실험 결과

표 1 제안된 DC-DC Converter 사양
Table 1 Spec of Proposed DC-DC Converter Circuit

직렬구조 Full Bridge Center Tap Converter	
V_{in}	600V _{dc}
P_o	50V _{dc} /350A (17.5kW)
Switching frequency	60KHz
MCU(DSP IC)	TMS320F28335

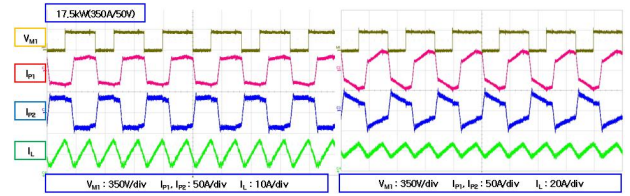


그림 4 제안한 DC-DC Converter 실험 파형
Fig. 4 Experimental Results of Proposed DC-DC Converter

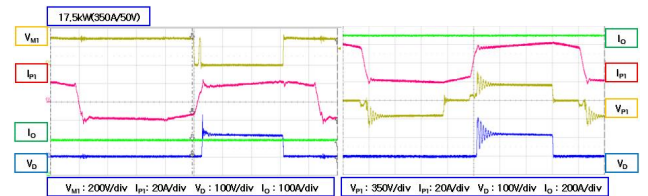


그림 5 Snubber에 따른 다이오드 Ringing 파형
Fig. 5 Simulation for Proposed DC-DC Converter

그림 4의 왼쪽 파형은 전압균형회로가 구동 중일 때의 파형으로 변압기 전류 파형이 시뮬레이션과 일치하며 대칭인 모습을 보여주는 반면 오른쪽 파형은 전압균형회로를 구동하지 않을 때의 파형으로 변압기 전류 파형이 비대칭인 모습을 볼 수 있다. 실제 실험 시 출력 200A 부근부터 전압 불균형상태가 되었으며 최대부하인 350A 출력 시 상위 Full Bridge와 하위 Full Bridge의 전압이 약 20V정도 불균형을 보였다.

그림 5는 스너버의 종류에 따른 2차 정류기의 다이오드 역전압 Ringing 파형으로 왼쪽 파형은 액티브 스너버, 오른쪽 파형은 일반 스너버를 사용한 파형이다. 일반 스너버에 비해 액티브 스너버를 사용한 파형이 Ringing 전압의 주파수와 길이가 짧은 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 고주파 용접기용 컨버터를 설계하고 실험 및 검증하였다. 효율은 최대부하 시 94.7%로 기존 용접기의 효율이 85~90%이므로 MOSFET을 이용한 고주파 용접기의 전압 균형회로와 액티브 스너버의 유용성을 확인하였다.

이 논문은 현대종합금속(주)의 연구비 지원에 의하여 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- [1] 권순걸, 문상필, “새로운 풀 브리지 소프트 스위칭 PWM 인버터를 이용한 용접기용 DC DC 컨버터의 개발”, 한국 조명·전기설비학회, 조명·전기설비학회논문지 22 6, 2008.6, page(s): 26 33