

논문 2008-45SC-4-8

새로운 하프 브리지 소프트 스위칭 PWM 인버터를 이용한 용접기용 DC-DC 컨버터의 개발

(Development of DC-DC Converter for Arc Welding Machines using A Novel Half Bridge Soft Switching PWM Inverter)

권순걸*, 문상필*

(Soon-Kurl Kwon and Sang-Pil Mun)

요약

본 연구에서는 일반적으로 용접기의 전원장치로 사용되어지는 풀-브리지 회로에 2개의 스위칭과 2개의 무손실 스너버 부분 공진 커패시터, 2개의 다이오드로 구성된 간단한 액티브 보조 부분 공진 스너버를 추가한 새로운 하프 브리지 소프트 스위칭 PWM DC-DC 컨버터를 제안하였다. 제안한 하프 브리지 소프트 스위칭 DC-DC 컨버터 회로는 기존 회로의 DC 버스 라인 스위칭에 발생하는 도통 손실을 저감하여 고주파 변압기의 1차측의 전류가 2차측보다 작아지는 저 전압, 대전류 직류 출력을 얻어 수 있었다. 그리고, 모든 영역에서 ZCS/ZVS 동작함으로써 저전압, 대전류 직류 출력의 스위칭 전원 장치에 있어 고주파, 고효율, 고풍력을 실현할 수 있다. 이러한 모든 사항은 시뮬레이션과 실험 결과로부터 도출하였으며, 제안한 회로의 단점을 보완할 경우에는 차세대형 TIG·MIG·MAG 아크 용접기용 전원으로 용이할 것으로 판단된다.

Abstract

This paper presents a new full-bridge soft switching PWM DC-DC converter circuit topology that adding two switcher, two lossless snubber quasi-resonance capacity, two diode to power source for general welding machine. This half bridge soft switching is low voltage high current output that first coil current is smaller than second coil current in high frequency transformer can be obtained with decreasing path loss in conventional DC bus line switcher. As it operate ZCS/ZVS in full range, high frequency, high efficiency and high output are implemented at low voltage and high DC current switching power supplies. All of this items are got from simulation and the result of experiment. If make up for the weak points of this proposed circuit, it will be used more easily for next generation TIG, MIG and MAG type of arc-welding machine.

Keywords : High Frequency Inverter, DC-DC Converter, Arc-Welding Machine

I. 서론

인버터를 이용한 아크 용접기용 전원은 저전압, 대전류 출력(출력 전압 20~80[V], 출력 전류 200~2000[A]정도)이 필요하게 된다. 특히, 10[kW]이하의 소용량 용접 전원으로서는 MOSFET나 IGBT를 이용한 직렬 공진 PFM

방식이나 위상 시프트 PWM 제어 공진형 방식이 채용되고, 스위칭 주파수를 100 [kHz]정도 까지 높인 것으로 소형·경량화한 제품이 일부 실용화되고 있다^[1~3]. 한편, 산업용으로 가장 생산 수량이 많은 10~30[kW]정도의 용접 전원으로는 용량·비용면에서 파워 MOSFET의 사용이 어려워 IGBT를 이용한 10~20[kHz]정도의 하드 스위칭 고주파 인버터 방식이 일반적이다^[4~5]. 하지만 이러한 용량의 용접 전원은 소형·경량화나 용접 성능 향상을 위해 스위칭 주파수를 높이기 때문에 IGBT를 이용한 액티브 보조 공진 소프트 스위칭 방식도 제안되고 있지만 공진 스너버 회로의 손실 증가나 고비용 등의 문제로 실

* 정회원, 경남대학교 전기공학과
(Division of Electronic & Electrical Engineering,
Kyungnam University)

※ 이 논문은 2007년도 경남대학교 학술논문게재연구비 지원으로 이루어졌습니다.
접수일자: 2008년1월14일, 수정완료일: 2008년7월7일

용화는 진행되고 있지 않고 있다^[6~8]. 그러므로 본 연구에서는 새로운 하프 브리지 소프트 스위칭 DC-AC 인버터를 제시하여 기존의 아크 용접기용 전원과 특징을 비교하고자한다.

II. 하프 브리지 DC-AC 인버터

1. 회로 원리 및 구성

그림 1은 기존의 아크 용접용 전원으로 사용되는 풀-브리지 고주파 소프트 스위칭 PWM DC-AC 인버터 회로를 나타낸 것이다^[1~2]. 그림 1에 나타낸 기존의 아크 용접용 전원은 일반적인 하프-브리지 DC-AC 인버터에 스위치 S_5, S_6 과 추가 무손실 스너버로서의 부분 공진 커패시터 C_1 , 고주파 변압기의 누설 인덕턴스 L_s 와의 부분 공진 회로를 부가한 간단한 구성으로 되어 있다. 이 회로 구성에 의해서 모든 액티브 스위치 $S_1 \sim S_6$ 은 ZVS 또는 ZCS 소프트 스위칭을 실현하며, 스위칭 주파수를 60[kHz]정도까지 고주파화할 수 있다. 그렇지만 IGBT의 수가 종래의 하드 스위칭 브리지형 고주파 인버터 방식과 비교해 추가 회로 부품의 증가로 인한 비용의 증가와 IGBT 드라이브 회로가 복잡해지는 결점이 있다.

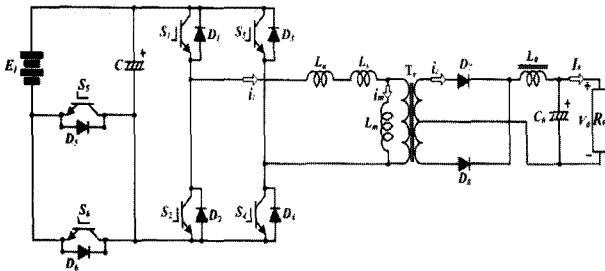


그림 1. 기존의 풀-브리지 소프트 스위칭 고주파 DC-AC 인버터 회로

Fig. 1. The conventional full-bridge soft switching high frequency DC-AC inverter circuit.

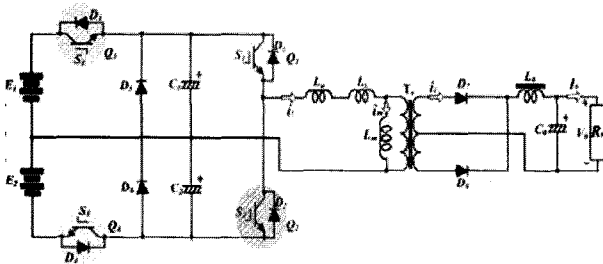


그림 2. 새로운 하프 브리지 소프트 스위칭 고주파 DC-AC 인버터 회로

Fig. 2. The proposed half bridge soft switching high frequency DC-AC inverter circuit.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 그림 2와 같이 새로운 하프 브리지 소프트 스위칭 고주파 DC-AC 인버터 회로를 제시하였다. 제시한 회로는 그림 1의 회로 구성에 비하여 스위치 소자가 저감되며, 스위칭 도통 손실이 저감됨과 함께 드라이브 회로도 간략화 된다.

그림 3은 기존 회로의 각 스위치의 게이트 펄스 순서(그림 3(a))와 제시한 회로의 각 스위치의 게이트 펄스 순서(그림 3(b))를 나타낸 것이다. 그림 3에서 제시한 하프 브리지 암의 스위치 S_1 과 S_2 는 데드 타임을 갖고 일정 주파수로 교대로 온/오프를 되풀이하며, 컨버터의 출력을 제어하기 위해 S_1 과 S_2 는 동기화하며, S_3 와 S_4 는 온시 PWM 제어를 행한다.

DC 버스 라인 스위치 S_3 은 스위치 S_1 의 온과 동시에 온 펄스를 얻을 수 있으며, 스위치 S_1 이 오프 한 t_a 전에 오프 펄스를 얻을 수 있다. 또, DC 버스 라인 스위치 S_4

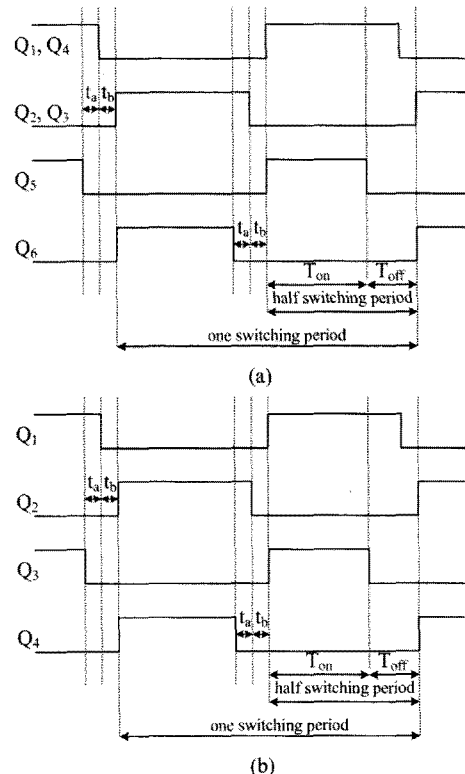


그림 3. 각 스위치의 게이트 펄스 순서
(a) 기존의 고주파 DC-AC 인버터 회로
(b) 제안한 고주파 DC-AC 인버터 회로

Fig. 3. The gate pattern sequences of the each part switches.

- (a) conventional high frequency DC-AC inverter circuit
- (b) proposed high frequency DC-AC inverter circuit

표 1. 각 스위치의 온-오프 상태
Table 1. The ON-OFF condition of the each part switches.

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈
Mode0	ON		ON								ON	
Mode1	ON										ON	
Mode2	ON								ON		ON	ON
Mode3						ON					ON	ON
Mode4						ON		ON			ON	ON
Mode5											ON	ON
Mode6		ON		ON								ON
Mode7		ON										ON
Mode8		ON								ON	ON	ON
Mode9					ON						ON	ON
Mode10					ON		ON				ON	ON
Mode11											ON	ON

는 스위치S₂의 온과 동시에 온 펄스를 얻을 수 있으며, 스위치S₂가 오프 한 t_g전에 오프 펄스를 얻을 수 있다. 표 1은 시도한 컨버터의 각 스위치의 온/오프 상태를 12의 동작 모드를 나타낸 것이며, 그림 4는 각 동작 모드별 등가회로를 나타낸 것이다.

Mode 0(파워모듈 모드)

모드 0은 스위치S₁과 S₃가 동시에 온되어 고주파 변압기의 1차측에 전류가 흐르는 모드이다. 이때, 무손실 스너버 부분 공진 커패시터C₁은 DC 버스 라인 전압E₁에 충전되며, 고주파 변압기의 2차측 다이오드D₇는 온되어 부하에 전력이 공급된다.

Mode 1(S₃의 턴-오프와 C₁의 방전 모드)

모드 1은 DC 버스 라인 스위치S₃의 게이트 펄스를 제거하고 S₃은 턴-오프하는 모드이다. 이때, 고주파 변압기의 1차측 전류는 무손실 스너버 부분 공진 커패시터로 전류(轉流)하며, 스위치S₃는 ZVS로 턴-오프한다. 그리고 커패시터C₁의 전압은 고주파 변압기가 누설 인덕턴스L_s와의 공진에 의하여 감소하며, 고주파 변압기의 2차측은 모드 0 같이 다이오드D₇의 온 상태가 계속 유지된다. 고주파 변압기의 2차측 전압이 부하 전압 이하가 되면 다이오드D₇과 D₈은 동시에 도통하며, 고주파 변압기의 1차측 전류i_{L1}을 정전류로 간주하면 커패시터 C₁의 전압은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$V_c(t) = E - \frac{i_{L1}}{C}t \quad (\because E_1 = E_2 \cong E, C_1 = C_2 \cong C) \quad (1)$$

식 (1)에 의해 커패시터C₁의 방전에 필요한 시간t_x을 식으로 나타내면 식 (2)를 얻을 수 있다.

$$t_x = E \frac{C}{i_{L1}} \quad (2)$$

식 (2)에서 알 수 있듯이 고주파 변압기의 1차 전류가 클수록 커패시터C₁의 방전 시간은 짧아진다.

따라서 본 연구에서는 DC 버스 라인 스위치S₃(또는 S₄)가 오프된 후에 브리지 암 스위치 S₁(또는 S₂)가 오프되기까지의 시간t_a을 고주파 변압기의 1차측 전류가 최대일 때의 시간t_x보다 길게 설정함으로써 스위치S₁ 또는 S₂는 완전한 ZVS로 턴-오프되어 부하 전류는 최대출력을 가지게 된다.

Mode 2(환류 모드)

모드 2는 무손실 스너버 부분 공진 커패시터C₁의 방전이 완료되어 C₁의 전압이 제로가 되는 모드이다. 이때, 다이오드D₆는 온 되며, 고주파 변압기의 1차 전류는 D₅를 통하여 환류 된다. 그리고 고주파 변압기의 2차측에 있는 다이오드 D₇, D₈은 온되어 플라이휠 동작 모드로 된다.

Mode 3(S₁의 턴-오프와 C₂의 충전 모드)

모드 3은 무손실 스너버 부분 공진 커패시터C₂의 전압은 양의 반주기동안에 제로로 되어 있기 때문에 다이오드 D₂가 온되어 스위치S₁은 ZVS로 턴-오프하는 모드이다. 이때, 고주파 변압기의 누설 인덕턴스에 저축되었던 에너지는 C₂로 충전된다. 식 (3)은 무손실 스너버 부분 공진 커패시터 C₂가 DC 버스 라인 전압E₂까지 충전된 조건을 나타낸 식이다.

$$\frac{1}{2} CE^2 = \frac{1}{2} L_s i_{L1}^2 \quad (3)$$

일반적으로 DC 버스 라인 스위치 S₄가 ZVS를 실현하기 위해서는 식 (4)을 만족하도록 C₁=C₂=C로 설정해야 한다.

$$\frac{1}{2} CE^2 < \frac{1}{2} L_s i_{L1}^2 \quad (4)$$

Mode 4(에너지가 전원E₂에 귀환하는 모드)

모드 4는 무손실 스너버 부분 공진 커패시터C₂의 전압이 E₂에 이르면 다이오드D₄가 온 하여 누설 인덕턴스 L_s에 저축되었던 에너지는 전원E₂에 귀환되고, 커패시터C₂의 전압은 E₂에 클램프 되는 모드이다.

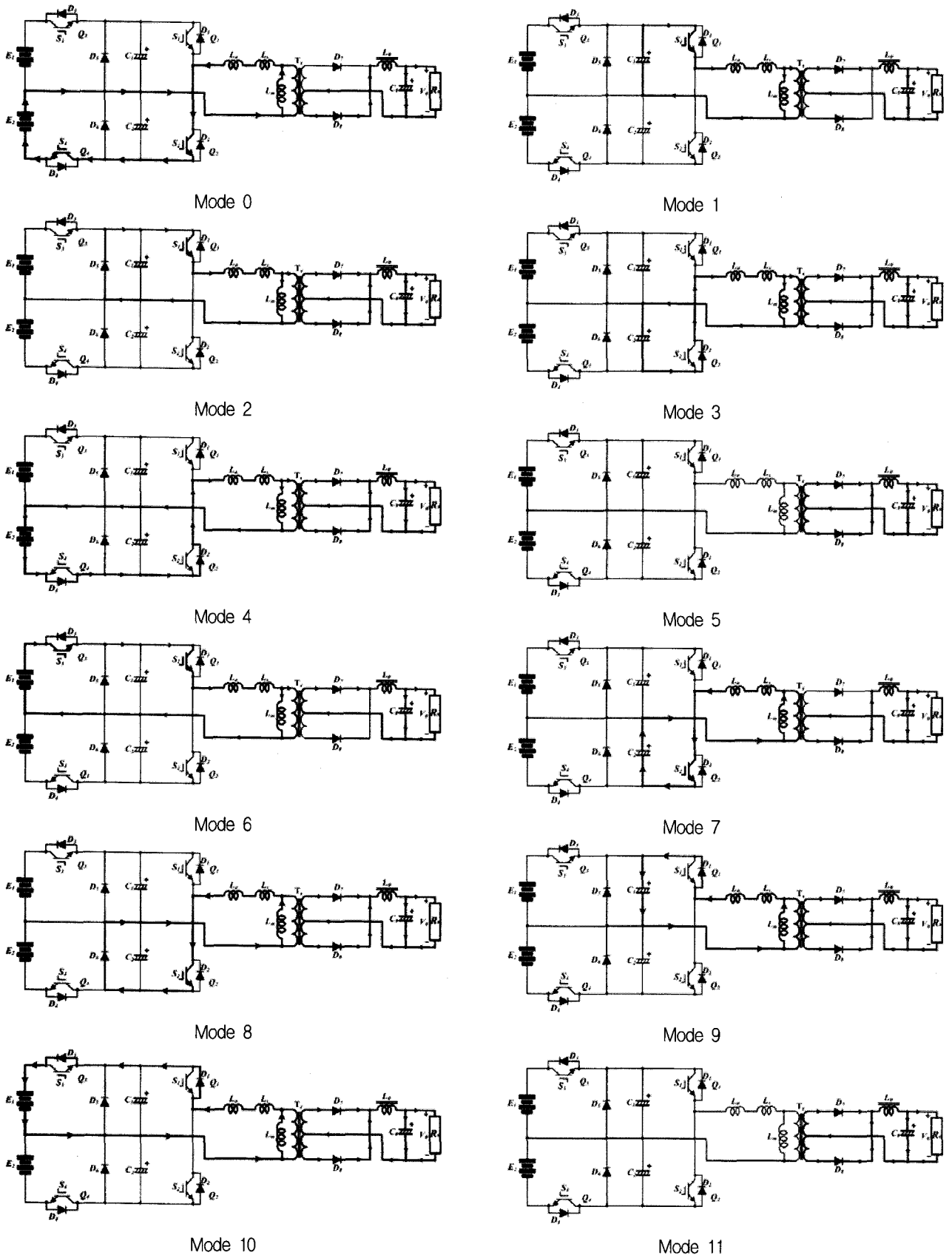


그림 4. 동작 모드별 등가회로
 Fig. 4. Equivalent circuits for operating modes.

Mode 5(고주파 변압기의 1차측 동작 정지 모드)

모드 5는 고주파 변압기의 1차측 동작이 정지하는 모드이다. 이때, 고주파 변압기의 2차측에 있는 다이오드 D_7 과 D_8 은 온되어 플라이휠 모드로 동작한다.

Mode 6(파워모듈모드)

모드 6은 스위치 S_2 와 S_4 가 온되어 고주파 변압기의 1차측에 전류가 흐르는 모드이다. 이때, 무손실 스너버 부분 공진 커패시터 C_2 는 DC 버스 라인 전압 E_2 에 충전되며, 고주파 변압기의 2차측에 있는 다이오드 D_8 은 온되어 DC 부하에 저전압, 대전류 전력이 공급된다.

Mode 7(S_4 의 턴-오프와 C_2 의 방전 모드)

모드 7은 스위치 S_4 가 턴-오프하는 모드이다. 이때, 고주파 변압기의 1차측 전류는 무손실 스너버 부분 공진 커패시터에 전류(轉流)하여 스위치 S_4 를 ZVS로 턴-오프한다. 모드 1과 마찬가지로 커패시터 C_2 의 전압은 고주파 변압기의 누설 인덕턴스 L_s 와의 공진에 의해서 감소하며, 커패시터 C_2 의 전압은 식 (1)과 같다.

Mode 8(환류 모드)

모드 8은 무손실 스너버 부분 공진 커패시터 C_2 의 방전이 완료되어 커패시터 C_2 의 전압이 제로가 되는 모드이다. 이때, 다이오드 D_6 이 온 하여 고주파 변압기의 1차 전류는 D_6 을 통하여 환류되며, 고주파 변압기의 2차측에 있는 다이오드 D_7 과 D_8 은 온되어 플라이휠 모드 동작한다.

Mode 9(S_2 의 턴-오프와 C_1 의 충전 모드)

모드 9는 스위치 S_2 가 턴-오프하는 모드이다. 이때, 무손실 스너버 부분 공진 커패시터 C_1 의 전압은 제로이며, 다이오드 D_1 이 턴-온되어 스위치 S_2 는 ZVS로 턴-오프한다. 그리고 모드 3과 같이 고주파 변압기의 누설 인덕턴스 L_s 에 저축되었던 에너지로 커패시터 C_1 에 충전된다.

Mode 10(에너지가 전원 E_1 에 귀환하는 모드)

모드 10은 무손실 스너버 부분 공진 커패시터 C_1 의 전압이 E_1 에 이르면 다이오드 D_3 가 온하여 누설 인덕턴스 L_s 에 저축되었던 에너지는 전원 E_1 에 귀환되고, 커패시터 C_1 의 전압은 E_1 에 클램프 되는 모드이다.

Mode 11(고주파 변압기 2차측의 동작 정지 모드)

모드 11은 고주파 변압기의 1차측 동작이 정지하는 모드이다. 이때, 고주파 변압기의 2차측에 있는 다이오드 D_7 과 D_8 은 온되어 환류 모드로 동작한다.

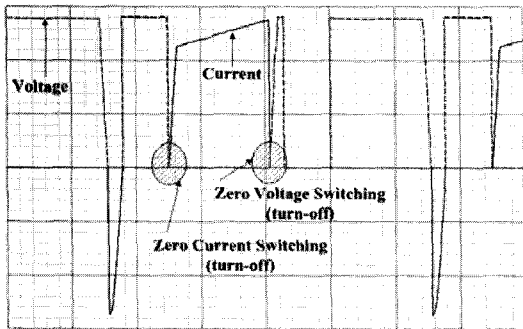
2. 시뮬레이션 결과 및 고찰

표 2는 시뮬레이션과 실험에 사용된 회로 정수를 나타낸 것이다. 시뮬레이션에 사용된 수동소자는 이상적인 것으로 하였으며, 그 외의 능동소자는 실제 소자와 가장 가까운 조건으로 모델링하여 사용하였다. 그리고 실험에 사용된 IGBT 모듈(S_1 - D_1 , S_2 - D_2 , S_3 - D_3 , S_4 - D_4) 및 다이오드(D_5 , D_6)는 냉각용의 히트 싱크(Heat sink)에 장착하였으며, 각각 프린트 기판으로 접속하였다. 프린트 기판에는 무손실 스너버 부분 공진 커패시터 C_1 과 C_2 가 실장되어 있고, 각 IGBT 사이나 DC 버스 라인 사이의 표유 정전용량(stray capacitance)은 최소한으로 억제하였다.

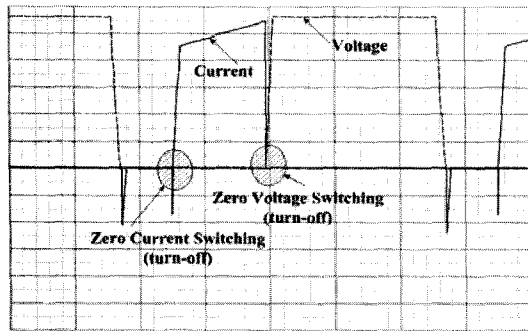
그림 5는 시도한 하프 브리지 소프트 스위칭 PWM DC-DC 컨버터 회로의 스위치 Q_1 과 Q_3 의 스위칭 동작 시뮬레이션 파형을 나타낸 것이다. 그림 5(a)에서 브리지를 구성한 암의 스위치 Q_1 의 S_1 은 ZCS로 턴-온하여 ZVS로 턴-오프하고 있는 것을 확인할 수 있으며, 그림 5(b)에서 DC 버스 라인 스위치 Q_3 의 S_3 은 ZCS/ZVS로 턴-온하여 ZVS로 턴-오프하고 있는 것이 확인할 수 있다.

표 2. 시뮬레이션과 실험에 사용된 회로정수
Table 2. Simulation and experimental using parameter.

직류 전원전압(E_1 , E_2)	280[V _{DC}]	
인버터 스위칭 주파수(f_s)	40[kHz]	
누설 인덕턴스(L_s)	2[uH]	
부분 공진 커패시터(C_1 , C_2)	0.235[uF]	
부하측	부하 인덕터(L_o)	60[uH]
	부하 전류(I_o)	400[A]
변압기 권선비($N_1:N_2:N_3$)	4:1:1	
턴-오프 지연시간(t_{off})	0.6[usec]	
스너버 커패시터(C_3 , C_4)	2200[uF]	
IGBT'S (Diodes)	S_1 - S_2 (D_1 - D_2)	SKM150GB128D (V _{ces} =1200V, I _c =150A)
	S_3 - S_4 (D_3 - D_4)	CM150DY-12NF (V _{ces} =600V, I _c =150A)
Diodes	D_5 - D_6	FRG25CA120 (V _{RRM} =1200V, I _F =25A)
	D_7 - D_8	DSE12x101-06A (V _{RRM} =600V, I _F =96A)



(a) 스위치 Q_1 의 파형(100V/div, 40A/div)



(b) 스위치 Q_3 의 파형(100V/div, 40A/div)

그림 5. 스위치 Q_1 과 Q_3 의 스위칭 동작 시뮬레이션 파형
Fig. 5. Switching operation simulation waveform of switch Q_1 and Q_3 .

III. 실험결과 및 고찰

그림 6은 본 연구에서 시도한 새로운 하프 브리지 소프트 스위칭 PWM DC-DC 컨버터의 시작실험기기를 나타낸 것이다. 그림 7에서 전원 E_1 과 E_2 는 3상 브리지 정류 컨버터의 평활 커패시터의 각 출력으로서 얻을 수 있다.

그림 7은 그림 6에 나타내는 시작 실험 회로를 이용한 아크용접 전원의 외관을 나타낸 것이며, 그림 8은 고주파 인버터(그림 8(a, b))와 고주파 변압기(그림 8(c))의 외관을 나타낸다. 그림 9는 하프 브리지를 구성

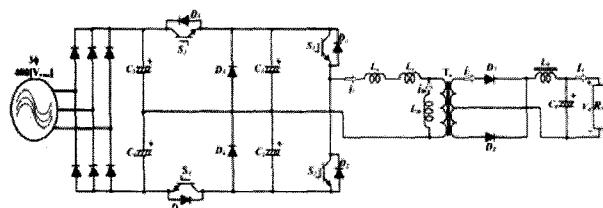


그림 6. 시도한 새로운 하프 브리지 소프트 스위칭 PWM DC-DC 컨버터의 실험회로
Fig. 6. Experimental setup for proposed new half-bridge soft switching high frequency DC-DC converter.

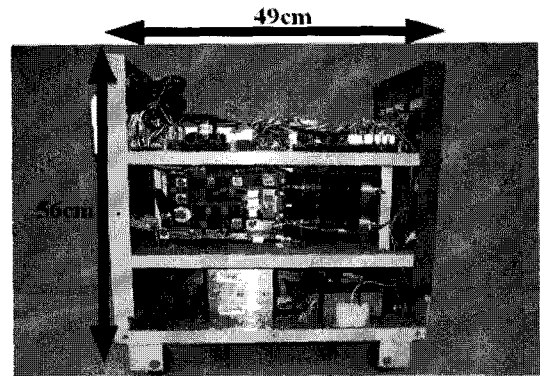
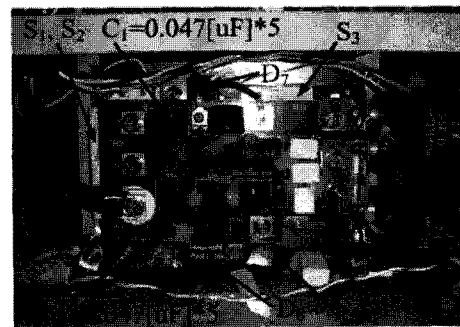
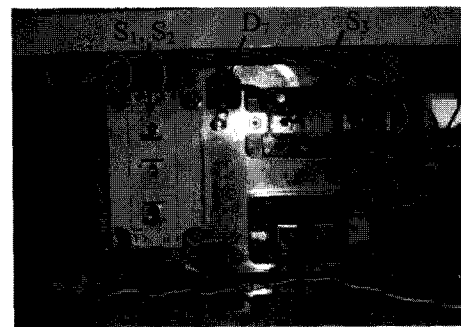


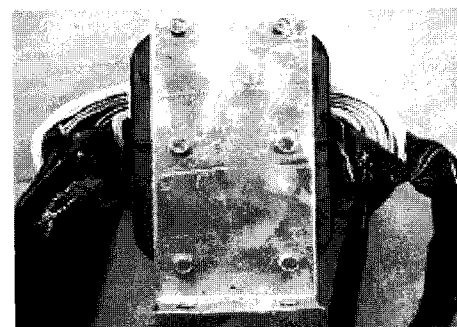
그림 7. 아크용접 전원의 외관
Fig. 7. The appearance of arc welding machine power system.



(a)

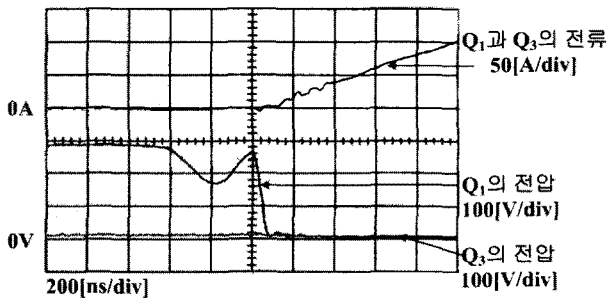
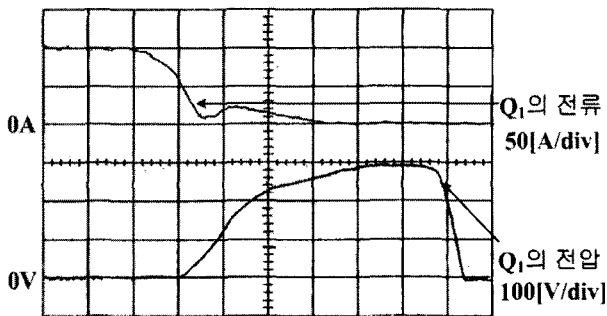
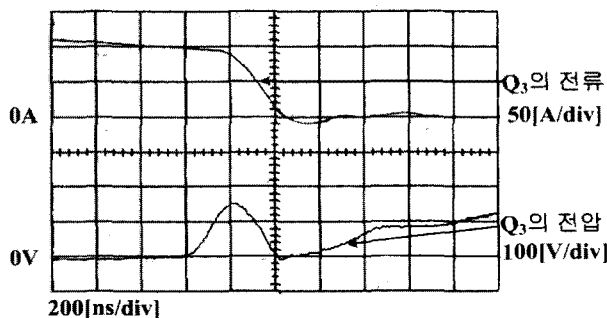


(b)



(c)

그림 8. 고주파 인버터((a),(b))와 고주파 변압기((c))의 외관
Fig. 8. High frequency inverter((a),(b)) and high frequency transformer((c)).

(a) Turn-on waveforms of switch Q_1 , Q_3 (b) Turn-off waveforms of switch Q_1 (c) Turn-off waveforms of switch Q_3 그림 9. 스위치 Q_1 과 Q_3 의 턴-온시 및 턴-오프시의 전압과 전류의 실험 파형Fig. 9. Experimental waveforms of voltage and current for turn-on turn-off of the switches Q_1 and Q_3 .

한 스위치 Q_1 과 Q_3 의 턴-온시 및 턴-오프시의 전압과 전류의 실험 파형을 나타낸 것이다. 그림 9(a), (b)에서 Q_1 은 ZCS로 턴-온하여, ZVS로 턴-오프하며, 그림 9(a), (c)에서 Q_3 은 ZCS/ZVS로 턴-온하여, ZVS로 턴-오프하는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 일반적으로 용접기의 전원장치로 사용되어지는 하프 브리지 회로에 2개의 스위치와 2개의 무손실 스너버 부분 공진 커패시터, 2개의 다이오드로 구성된 간단한 액티브 보조 부분 공진 스너버를 추가한

새로운 하프 브리지 소프트 스위칭 PWM DC-DC 컨버터를 제안하여 다음과 같은 특징을 얻었다.

(1) 기존의 하드 스위칭 하프 브리지 고주파 PWM DC-DC 컨버터의 고주파 인버터부에 액티브 스위치가 소프트 스위칭할 수 있었다.

(2) 제안한 하프 브리지 소프트 스위칭 PWM 컨버터 회로는 기존 회로의 DC 버스 라인 스위치에 발생하는 도통 손실을 저감하여 고주파 변압기의 1차측의 전류가 2차측보다 작아지는 저 전압, 대전류 직류 출력을 얻을 수 있었다.

(3) 제안한 하프 브리지 소프트 스위칭 DC-DC 컨버터 회로는 각 액티브 스위치에 인가된 전압이 DC 버스 라인 전압의 1/2로 되기 때문에 AC 400[V]계 상용전원 라인에 적용할 경우에도 600[V]내압의 스위칭 소자 (IGBT)가 적용 가능해진다. 단, DC-DC 컨버터의 부하가 경부하일 경우에는 무손실 스너버 부분 공진 커패시터가 완전하게 방전할 수 없는 모드로 동작하기 때문에 브리지를 구성한 스위칭 소자에 1200[V] 내압이 필요해 지지만, 보조 부분 공진스너버 회로 등에 의하여 무손실 스너버 부분 공진 커패시터를 전부하 영역에서 방전시킬 수 있는 특성을 가진다.

(4) 제안한 DC-DC 컨버터 회로가 ZCS/ZVS 동작하고 있는 것을 확인하였다.

(5) 제안한 하프 브리지 소프트 스위칭 PWM DC-DC 컨버터 회로는 저전압, 대전류 직류 출력의 스위칭 전원 장치에 있어 고주파, 고효율, 고출력을 실현할 수 있다.

이러한 모든 사항은 시뮬레이션과 실험 결과로부터 도출하였으며, 제안한 회로의 단점을 보완할 경우에는 차세대형 TIG·MIG·MAG 아크 용접기용 전원으로 용이할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 森本, 土井, 眞鍋, 平木, 中岡, “新方式電壓給電フルブリッジ型ソフトスイッチングPWM高周波インバタを用いたアーク溶接用高出力DC-DC換器”, 電気學會論文誌D, Vol. 126, No.3, pp.235~247, 2006.
- [2] MACHINING POWER SUPPLY WITH SWITCHING LOSS REDUCING ELEMENT, United States Patent: Patent No. US6, 687, 2006.
- [3] H. K. Yoon, “Zero Voltage Switching Two Transformer Full-Bridge PWM Converter with Lossless Diode Clamp Rectifier”, ICPE'04, pp.132~136, 2004.
- [4] M. Michihira, “Latest Developments on Converter

Technology and Their Trends”, Proceedings of Kansai Section IEE-Japan, No. S1-05, p.5, 2004.

[5] T. Nishida, Y. Ishigami, E. Hiraki, “Phase Shifted PWM DC-DC Power Converter with a Single Active Auxiliary Resonant Snubber”, Proceedings of Kansai Section IEE- Japan, No. 180507, pp.184, 2004.

[6] J.G.Cho, J.A.Sabate, G.Hua, and F.C.Lee, “Zero Voltage and Zero Current Switching Full Bridge PWM Converter for High Power Applications”, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.11, No.4, pp.622~628, July, 1996.

[7] J.G.Cho, C.Y.Jeong and F.C.Lee, “Zero Voltage and Zero Current Switching Full Bridge PWM Converter Using Secondary Active Clamp”, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.11, No.4, pp.601~607, July, 1996.

[8] S. Hamada and M.Nakaoka, “Analysis and Design of Saturable Reactor Assisted Soft-Switching DC-DC Converter”, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.9, No.3, pp.309~317, 1994.

— 저 자 소 개 —



권 순 걸(정회원)
 1973년 영남대학교 전기공학과
 학사 졸업.
 1980년 부산대학교 전기공학과
 석사 졸업.
 1990년 영남대학교 전기공학과
 박사 졸업.

현재 경남대학교 전자전기공학부 교수
 <주관심분야 : 전력전자>



문 상 필(정회원)
 1997년 부경대학교 전기공학과
 학사 졸업.
 1999년 경남대학교 전기공학과
 석사 졸업.
 2003년 경남대학교 전기공학과
 박사 졸업.

<주관심분야 : 전력전자, 전기기기, 전기철도>