

보조회로도 영전압영전류스위칭하는 DC-DC 변환기

전 성준, 조 규형  
부경대학교, 한국과학기술원

A Fully Soft Switched Full Bridge DC-DC converter

Seong-Jeub Jeon, and Gyu-Hyeong Cho  
Pukyong National University, Korea Advanced Institute of Science and Technology

**Abstract** - A new zero voltage and zero current switching(ZVZCS) full bridge DC-DC converter with transformer isolation is proposed for arc welding machines. The proposed DC-DC converter uses an auxiliary transformer to obtain ZCS for leading leg, which provides load current control capability even in short circuit condition. The auxiliary circuit also operates in ZVZCS mode. The power rating of the auxiliary transformer is about 10% of the main transformer. The operation is verified by experiments for 12[KW] prototype.

1. 서 론

절연변압기를 사용하는 대용량 DC-DC 변환기에서 주파수를 높이면 변압기의 무게를 줄일 수 있어 유리하나 스위칭 손실의 증가로 인해 그 한계가 주어진다. 스위칭 손실을 줄일 수 있다면 가격을 상승시키지 않고 대략 30-50 [KHz]까지의 동작이 적절하다. 그 이상은 변압기의 코어손실의 증가와 표피효과에 따라 동손이 증가하여 전체적인 가격이 상승하게 되므로 바람직하지 못하다. ZVS(Zero Voltage Switching) 기법을 사용하면 스위칭 손실을 크게 줄일 수 있다[1]. 그러나 ZVS는 매우 한정된 범위 내에서만 만족될 수 있어 부하 상태가 크게 변하는 용접기에는 적합하지 못하며 도통손실이 증가하는 단점을 가지고 있다. 특히 용접기는 정상운전중의 온듀티가 30~60[%]이므로 스위칭 소자의 도통손실 뿐만 아니라 변압기의 동손도 크게 증가한다. ZVS 방식의 이러한 단점은 한 쪽 레그(leading leg)에 ZCS(Zero Current Switching)를 도입하여 극복할 수 있다[2-4]. 한 쪽은 ZVS로, 다른 한쪽은 ZCS로 동작하는 ZVZCS(Zero Voltage and Zero Current Switching) 방식중 1차 측에 가포하리액터와 캐패시터를 사용하는 방식은 가포하리액터에서의 발열과 교류캐패시터가 심각한 문제가 될 수 있고[2], 2차 측에 수동 스너버나 능동 스너버를 사용하는 방식은 2차에서 본 온듀티(on duty)가 증가하므로 동작중 2차 회로에 단락이 빈번히 발생하는 용접기 같은 부하에는 적합하지 못하다[3,4]. 저자는 이전에 1차에 보조변압기를 사용한 ZVZCS 기법을 제안하여 용접기에 적용하였다[5]. 이 회로에서는 2차 측에서 본 온듀티가 증가하지 않으므로 용접기에 매우 적합하다. 그런데 보조회로가 하드스위칭을 하는 단점이 있다. 본 논문에서는 반제어 풀브리지 형태의 보조회로를 사용하는 컨버터를 제안하였다. 제안된 컨버터에서는 보조회로도 ZVZCS로 동작한다. 보조회로는 크기가 작아도 되며 대용량이 될수록 작은 용량의 보조회로는 제작에 부담이 되지 않는다. [2,5]와 본 논문에서 제안한 회로에서는 1차전류가 매 반주기마다 영이 되므로 신호나 회로의 비대칭성 등 작은 원인에 의해 발생하는 편차현상이나 자기포화의 위험성이 없다.

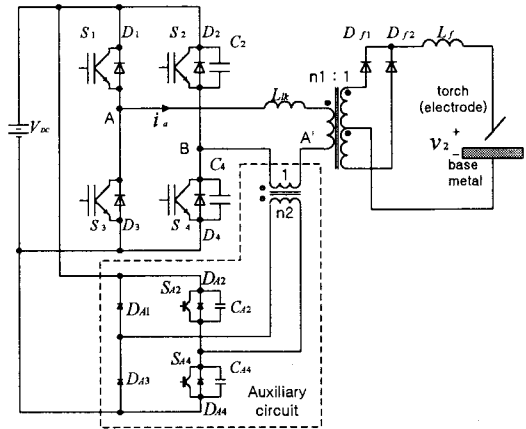


그림 1 제안된 회로도

2. 본 론

그림 1은 제안된 DC-DC변환기이다. 좌측의 진상 레그는 ZCS 조건으로 동작하고 오른쪽의 지상 레그는 ZVS 조건으로 동작한다. 지상 레그는  $L_{lk}, L_f, C_2, C_4$ 의 도움으로 ZVS(Zero Voltage Switching) 동작을 하고 진상 레그는 보조회로의 도움으로 ZCS 동작을 한다.

2.1 제안된 회로의 동작

한 동작주기는 5개의 동작모드로 나뉘어진다. 각 동작모드를 그림 2에 나타내었고 동작파형은 그림 3에 나타내었다. 보조스위치(SA2, SA4)의 동작은 주스위치(S2, S4)의 동작과 동일하다.

2.1.1 모드 1 ( $t_0 < t < t_1$ )

그림 2의 (a)의 모드 1은 S1, S4 소자가 켜져 있으며 전력이 변압기 1차에서 2차로 공급되는 구간으로 동작 설명의 초기 상태이다. 이 때 보조회로는 DA3, SA4 소자를 통하여 보조변압기를 단락시켜 주 회로에 영향을 미치지 아니한다.

2.1.2 모드 2 ( $t_1 < t < t_2$ )

모드 1에서 S4를 끄면 (b)의 모드 2가 시작된다. 이 구간에서는 공진회로가 구성되고 공진을 통하여 B점의 전압이 상단 전위에 이르면 S4의 ZVS-off는 완료된다. (b)의 그림은 설명을 쉽게 하기 위하여 간략하게 나타낸 것으로 (f)에 보다 정확한 등가 회로를 나타내었다.

2차 회로를 1차로 환산한 등가 회로이다. 공진은  $L_{lk}$ ,  $L_f$ 와 주회로의 캐패시터와 보조의 캐패시터가 직렬로 연결된 상태로 일어나고 캐패시터들이 식 (1)과 (2)를 만족시키면 주회로의 캐패시터 전압이 0에서  $V_{DC}$ 에 이르는 동안 보조회로의 캐패시터 전압도 0에서  $V_{DC}$ 에 이르러 주회로와 보조회로가 동시에 ZVS-off 동작을 완료한다.  $L_f$ 가 큰 경우는 이 구간에서 전류가 변하지 않는다고 볼 수 있고 캐패시터의 전압은 선형적으로 변한다.

$$C \equiv 2C_2 = 2C_4 \quad (1)$$

$$C_A \equiv 2C_{A2} = 2C_{A4} = \frac{C}{n_2} \quad (2)$$

### 2.1.3 모드 3 ( $t_2 < t < t_3$ )

(c)의 모드 3은 보조회로가 동작하여 변압기 1차에 흐르는 전류를 제거하는 단계이다. 보조회로내의 보조스위치는 이 구간에서 꺼진다. 이 구간 동안 전원전압이 보조변압기를 통해 1차 측에 역전압을 인가하여 변압기 누설인덕턴스에 갇힌 에너지를 회수한다. 2차 측의  $D_{f1}$ 에 흐르던 전류는 감소하고  $D_{f2}$ 로 흘러간다. 이 구간 동안  $S_2$ 를 켜두면 모드 5로 들어가면서 ZCS-on 된다.

### 2.1.4 모드 4 ( $t_3 < t < t_4$ )

(d)의 모드 4는 변압기 1차 측에는 전류가 흐르지 않고 차로가 리셀되고 부하전류는  $D_{f1}$ 과  $D_{f2}$ 로 균분하게 흘러 변압기 2차를 통하여 환류(free-wheel)하는 구간이다. 이 구간 동안  $S_1$ 을 끄면  $S_1$ 은 ZCS-off 된다.

### 2.1.5 모드 5 ( $t_4 < t < t_5$ )

(e)의 모드 5는  $S_3$ 을 켜 ZCS-on하는 구간이다.  $S_3$ 를 켜기 전에 1차 측에는 전류가 흐르지 않고 있었고 직렬로 인덕터가 존재하여 전류가 기울기를 가지고 증가하여 ZCS-on이 이루어진다. 2차 회로에서는 부하전류가  $D_{f1}$ 에서  $D_{f2}$ 로 옮겨간다. 전류가  $D_{f1}$ 에서  $D_{f2}$ 로 완전히 옮겨가면 한 동작 사이클이 완료되고  $S_2$ ,  $S_3$ 소자가 꺼진 상태의 모드 1이 시작된다.

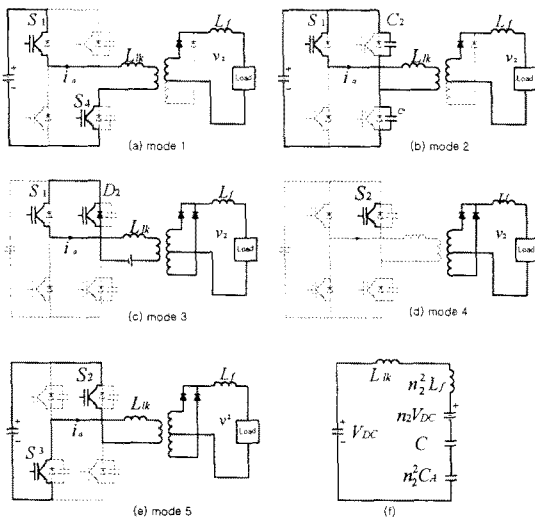


그림 2 동작모드

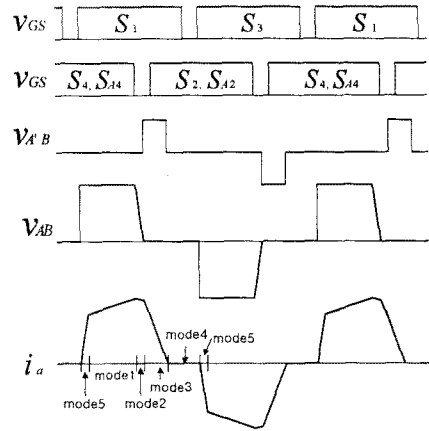


그림 3 동작파형

## 2.2 동작실험

실제 실험 용접기는 12KW의 시작품을 제작하여 실험으로 그 동작을 확인하였다. 정격입력은 3상 220[V]이다. 최대 부하전류는 450[A]이다.

그림 4는 제작한 용접기의 주회로의 동작파형으로 전압과 전류 파형으로부터 ZVZCS가 이루어짐을 알 수 있다. 주변압기의 양단 전압 파형에서 크고 넓은 펄스는 모드 1에 해당하는 것이고 작고 좁은 펄스는 모드 3에서 보조변압기를 통하여 인가된 전압이 누설인덕턴스에 인가되어 전류가 감소할 때에 주변압기와 보조변압기의 누설 인덕턴스비에 따라 주변압기 누설인덕턴스에 인가된 전압이다. 그림 5는 보조회로의 동작파형으로 보조변압기에 직류추전압이 인가될 때 보조변압기 2차 전류가 감소하는 것을 볼 수 있다. 보조변압기 1차 전류는 그림 4에 보여준 주 변압기 1차 전류와 같다. 그림 6은 부하측 정류단 동작파형이다. 부하전류의 크기가 절반이 되는 영역은 free-wheel 구간이다. 그림 7은 펄스동작전류로 펄스주파수는 약 20[Hz]이고 저전류는 100[A]이며 고전류는 450[A]이다. 단락부하에서도 제어가 잘 이루어짐을 알 수 있다. 전류의 상승시간은 400[μsec]가 얻어졌다. 그림 8은 제작한 용접기로 피복 아크 용접한 시료이다. 용접전류는 200[A]였고 수동용접을 하였으며 사용된 용접봉은 5[mm]로 비교적 굵은 것에 속한다. 그림 8의 중앙이 형성된 비드이고 위 부분은 사용한 5[mm] 용접봉이고 아래 부분은 일반적으로 많이 사용하는 3[mm] 용접봉으로 비교를 위해 나타내었다.

## 3. 결 론

본 연구를 통하여 보조변압기를 중심으로 구성된 보조회로를 사용하는 새로운 형태의 ZVZCS 컨버터를 중심으로 구성된 용접기를 제안하였고 그 타당성을 실험을 통하여 확인하였다. 추가된 보조회로도 ZVZCS로 동작하고 그 용량이 작다. 제안된 ZVZCS 컨버터는 ZVS 방식에 비해 스위칭 소자의 도통손실을 줄여주고 변압기의 동손을 감소시켜 시스템의 크기를 줄일 수 있다. 또한 신호나 회로의 비대칭성에 기인하는 편차나 자기포화의 가능성이 제거되었다. 이 방식은 ZVS 방식에 비해 넓은 범위에서 소프트 스위칭을 할 수 있고 특히 단락부하에서도 전류의 제어가 용이하므로 용접기용으로 매우 적합하다.

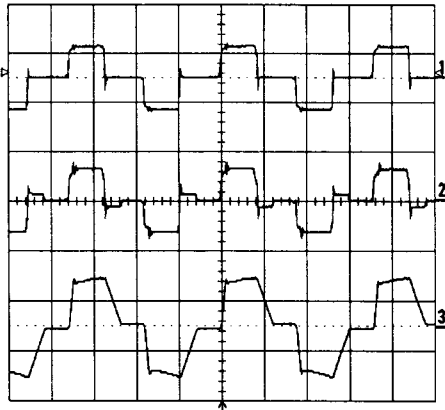


그림 4 1차측 동작 파형: 브리지출력전압 (상:400V/div), 주변압기 1차 전압 (중:400V/div), 주변압기 1차 전류 (하:100A/div), 시간축:10 (μsec/div)

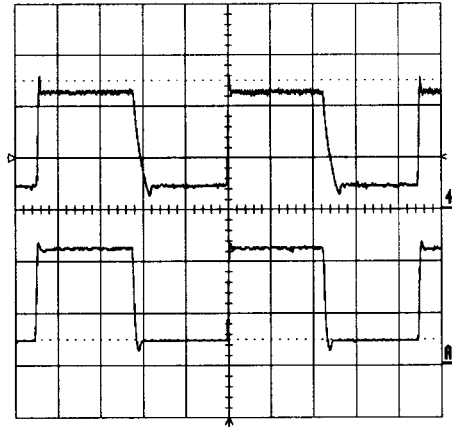


그림 7 펄스 동작 출력 파형: 부하전류 (200A/div), 상:단락부하, 하:정격부하, 시간축: 10(msec/div)

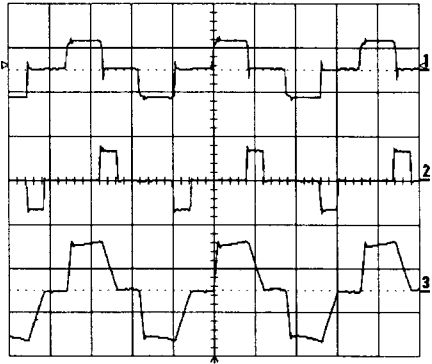


그림 5 보조회로 동작 파형: 브리지출력전압 (상:400V/div), 보조변압기 2차 전압 (중:400V/div), 보조변압기 2차 전류 (하:20A/div), 시간축:10 (μsec/div)

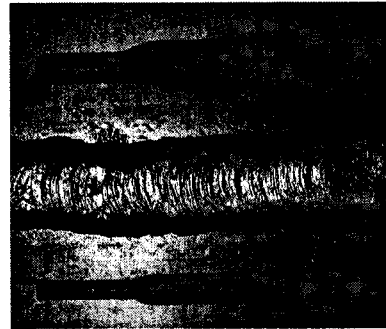


그림 8 피복 아크 용접한 시료

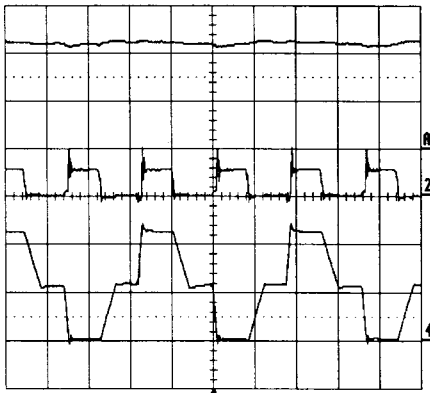


그림 6 부하 측 동작 파형: 부하 전류 (상:200A/div), 2차측 정류 전압 (중:100V/div), 정류 다이오드 전류 (하:200A/div), 시간축:10(μsec/div)

(참 고 문 헌)

- [1] J.A. Sabate, V.Vlatkovic, R.B. Ridley, F.C. Lee and B.H. Cho, "Design Considerations for High-Voltage High-Power Full-Bridge Zero-Voltage-Switched PWM Converter", IEEE APEC '90 Rec., pp275-284, 1990
- [2] 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 PESC '94 Rec., pp102-108, 1994
- [3] E.S. Kim, K.Y. Joe and M.H. Kye, "An Improved Soft Switching PWM FB DC/DC Converter for Reducing Conduction Losses", IEEE PESC '96 Rec., pp651-656, 1996
- [4] J.G. Cho, G.H. Rim and F.C. Lee, "Zero Voltage and Zero Current Switching Full Bridge PWM Converter Using Secondary Active Clamp", IEEE PESC '96 Rec., pp657-663, 1996
- [5] 전성준, "아크 용접에 적합한 영전압영전류 방식의 풀브리지 컨버터", KIEE trans., Vol. 48B, No. 6, 1999