

용접기용 전원장치의 출력정류부 다이오드의 무손실 스너버회로

° 리병훈, 구현희, 김대옥, 신동희, 이현우  
 \*경남대학교 \*\*한국전기연구원 (주)

A Lossless Snubber Circuit on Power Supply for Welding Machines' Output Rectification Diode

° B.H. Ra, H.H. GU, D.U. Kim, D.H., Shin, H.W. Lee  
 \*KyungNam Univ., \*\*KERI, Power Tech Co.

**Abstract** - This paper proposes a new lossless snubber circuit on power supply for welding machine's output rectification diode.

To improve the common inverter control type power supplies' problems that energy loss and heating in the snubber circuit because the output capacity makes too big heat energy in the circuit when the output current of the inverter is rectified by the diode bridge circuit, which includes the snubber circuit.

This paper suggested new snubber circuit have increased power factor and confidence of output by being regenerate thus lost energy to input node.

1. 서 론

현재 국내에서 생산되고 있는 종래 방식의 용접기는 선진국의 인버터 제어방식의 용접기에 비해 용접작업이 비능률적임은 물론 용접부의 균일성과 신뢰성의 측면에서 성능이 떨어지므로 국내 용접기 사용업체의 생산성 향상, 제품수준의 향상에 대한 욕구에 부응하지 못하고 있다. 따라서 일부 제조업체에서는 고가의 외국산 용접기를 수입하여 사용하기도 하지만, 대다수의 중소기업에서는 국내에서 제작하여 저렴하게 공급되는 고품질의 용접기에 대한 기대가 급증하고 있다.

이러한 기대와 욕구 속에서 용접기술의 중요성을 인식하고 일부 연구소와 제조업체에서는 용접기의 구조설계, 전원장치, 제어장치의 개발, 용접현상의 분석 등에 관한 연구를 추진하고 있으며, 그 중 용접기의 핵심이라고 할 수 있는 전원장치에 관한 연구에서는 최근 산업기기를 비롯하여 전력기기, 전자정보기기, 가전기기 등 다양한 특정 응용분야에 도입되어 있는 고주파 스위칭 PWM 전력변환장치의 고성능화, 고효율화, 저전자 노이즈화를 위하여 부분공진 모드 반도체 전력변환회로의 토포로지와 그 특성평가, 독자적인 제어방식에 관한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다.

그러나, 모든 공진형 소프트 스위칭의 방식에는 종류에 따라서 여러 가지 장단점을 가지고 있다. 그림 1은 용접기용 전원장치의 구성을 나타낸 것으로 기존의 Hard Switching Pull-Bridge DC-DC 컨버터의 출력 다이오드 브릿지 정류회로(이하 2차 정류단)에 사용하는 병렬접속 RC-스너버회로에서의 고출력 용량으로 인한 큰 에너지 소비의 열이 발생하여 이의 열처리를 위한 냉각 기술의 난점과 에너지 손실이라는 근본적인 문제점을 가

지고 있다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 다음과 같이 새로운 부분공진형 소프트 스위칭 블록을 이용한 무손실 스너버 회로를 제안하고자 한다.

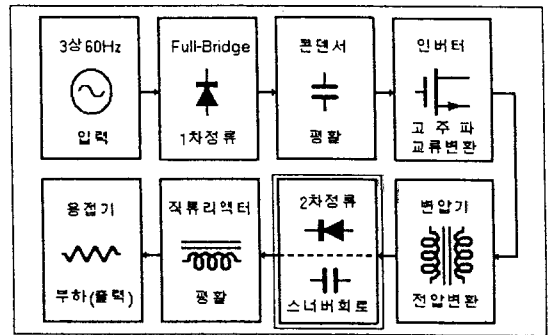


그림 1 용접기 주회로의 구성도

2. 본 론

2.1 용접기의 주회로

일반적인 인버터 용접기 회로를 그림 2에 표시한다. PRSSM pulsed arc 용접기 회로의 주 회로도도 그림 3에 나타낸다. 본 회로의 동작은 상용 주파수의 3상 교류 입력을 부분공진 소프트 스위칭 방식에 의해서 정류, 평활한 후 IGBT 인버터에 의해 20kHz의 고주파 교류로 변환하면서 출력제어를 한다. 용접기의 고속 출력제어를 가능하게 하는 인버터부는 변압기의 이용률이 우수하고 출력주파수가 동작주파수의 2배로 되기 때문에 출력전류의 리플주파수를 높게하는 것이 가능하고, 대용량에 적합한 Full Bridge 방식을 사용하였으며, 2차 정류기는 저압 대전류가 되므로 전체적인 효율 향상을 위하여 Center Tap 방식으로 하였다.

2.2 용접전류의 파형제어

펄스 MAG 용접은 비교적 세경(0.8~1.6mm)의 전극 와이어를 이용하여 Ar-CO<sub>2</sub>(5~20%) 혼합 Gas 중에서 모재(피용접물)와 와이어 사이에서 아를 발생시키는 용접법이다. 그림 4에 표시하는 것 같이 사용하는 Wire 재질, Wire 경에 의해 전해지는 임계전류(Ic) 보다 높은 peak 치의 Pulse 전류를 적당히 반복 동기시켜, 와이어 선단에 형성된 용적(용접전원의 선단에서 모재로 이행하는 용융 금속)을 펄스전류에 동기해서 강제적으로 이탈하여, 스프

웨이상으로 용융지에 이행시킨다.

다음 펄스전류가 인가 될 때까지는 전류를 저장한 Base 전류로서 아크의 유지를 도모한다. 이렇게 1펄스로

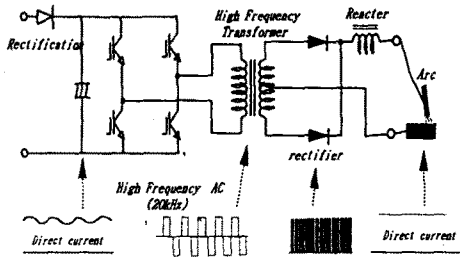


그림 2 일반적인 인버터 용접기 회로

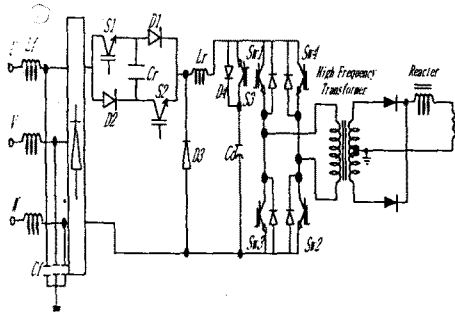


그림 3 제안하는 PRSSM pulsed arc 용접기회로

1용적의 원활한 이행을 여러 가지 용접조건에 있어서 실현하기 위해서는 용접전류 파형의 각 Parameter를 용접 조건 마다 최적화 할 필요가 있다.

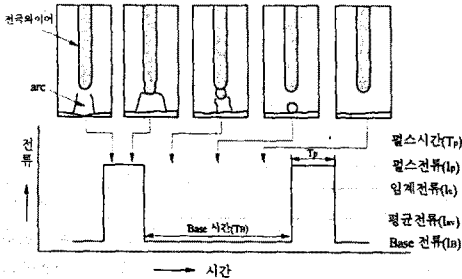


그림 4 펄스전류 파형

따라서 그림 3에서 용접전류 Parameter를 와이어 재질이나 wire 경에 따라서 적절한 값으로 설정하는 것이 중요하다. 또한 적절한 아크장을 얻기 위해, 용접전류 즉 wire 송급속도에 따라서 펄스 주파수  $f$ 를 증감시켜야 할 필요가 있다. 각 parameter의 관계는 아래식으로 나타낼 수 있다.

$$I_{av} = f \cdot T_p (I_p - I_B) + I_B \quad (1)$$

### 2.3 기존의 스너버회로의 해석

용접전원의 부하인 용접아크는 부하개방에서 단락까지 광범위(수A~수100A)하고 빈번하게 반복하는 전류범위를 가지고 있는 특이한 부하지만 종래의 사이리스터 위상제어를 하고 있기 때문에 용접아크의 급격한 변동에

대해서 추종하는 응답속도가 한계가 있고 용접성능의 개선에도 한계가 있다. 그러나 근래의 Power-Device의 진보와 함께 용접기 전원장치를 사이리스터 위상제어에서 트랜지스터 초퍼제어를 거쳐서 고속 인버터제어가 주류로 되고 있다. 그림 2은 Power-Device에 의한 고속 인버터제어방식의 용접기용 전원장치 구성도를 나타낸 것이다. 여기서 2차 정류단에 기전역의 R-C 스너버를 접속한 회로가 그림 2에 나타나 있다.

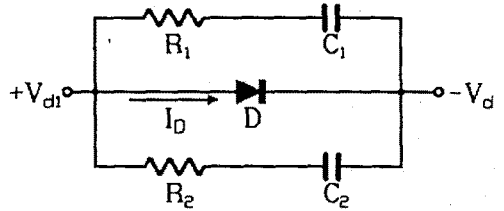


그림 5 기존의 R-C 스너버를 접속한 2차 정류단

이 회로는 기존의 Power-Device에 부가하던 R-C 스너버의 모형을 그대로 적용한 것이다. 이 스너버 회로의 선정조건으로 살펴보면 다음과 같다.

R-C 스너버회로를 장착한 2차 정류단 다이오드의 순간 피크저압은

$$V_{dosp} = E_d + L_s \cdot di_c/dt$$

이다. 여기서,

$E_d$ : 직류전원전압

$L_s$ : 스너버회로의 인덕턴스

$di_c/dt$ : 다이오드 비도통개시점에서의 최대전류변화율

이다.

또한, 스너버 콘덴서의 소요용량은 다음식으로 구할 수 있다.

$$C_s = \frac{L \cdot I_o^2}{(V_{dop} - E_d)^2}$$

이다. 여기서,

$L$ : 주회로의 인덕턴스

$I_o^2$ : 다이오드 비도통개시점에서의 입력전류

$V_{dop}$ : 콘덴서전압의 최약도달치

$E_d$ : 직류전원전압

이며,  $V_{dop}$ 는 다이오드 양단간 내압전압이므로 억제할 필요가 있다. 한편, 충전전하의 90%를 방전하는 조건에서 스너버 저항을 구하면

$$R_s \geq \frac{1}{2.3 \cdot C \cdot f}$$

과 같이 구할 수 있다. 여기서  $f$ 는 스위칭 주파수이며, 스너버 저항치를 너무 낮은 값으로 하면 스너버회로전류가 진동하여 다이오드 도통개시점의 입력전류 피크치도 늘어나기 때문에 위 식을 만족하는 범위 내에서 그 높은 값으로 하는 편이 좋다.

위에서 선정된 스너버회로는 2차 정류단 다이오드의 써지전압을 스너버 콘덴서(C)에 흡수하였다가 저항(R)을 통하여 방전하는 소모성 스너버회로로 기존의 용접기용 전원장치에서는 전압을 분배하기 위해 병렬로 2단을 접속하여 사용하였다. 이러한 스너버회로는 다이오드의 비도통 개시점에서 전압 상승률을 억제하는 효과도 있지만 대용량에서는 저항을 적은 값으로 하지 않으면 안되고 그 결과 다이오드 도통 개시점에서 전압강하에 따른

실무가 막중해진다. 또한 이 회로는 출력용량과 부하변동이 큰 용접기 부하에서는 큰 전류를 견디지 못하고 다이오드가 소호되거나, 이것을 방지하기 위해 콘덴서를 용량을 크게하여 비경제적이며 용접기의 용적을 크게 만드는 요인일 뿐 만 아니라, 저항의 소모성 발열로 인한 열을 처리하기 위한 부가적인 냉각장치가 필요한 회로이다.

이러한 소모성 스너버 회로로 단점을 보완하기 위해 아래에서는 제안하는 부분공진 소프트 스위칭 블록을 포함하는 무손실 스너버 정류 회로(이하 무손실 스너버회로)에 대해 알아보자.

## 2.2 제안하는 무손실 스너버회로

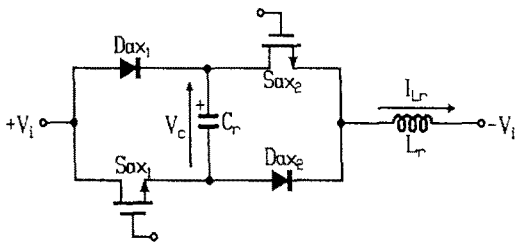


그림 6 제안하는 PRSS 무손실 스너버회로

그림 6은 제안하는 무손실 스너버회로를 나타낸 것으로 부분공진 소프트 스위칭(PRSS)방식을 적용한 것이다.

부분공진 회로의 방식은 ZCS 공진 방식과 ZVS 공진 방식을 조합한 기능을 가지며, 회로구조는 스너버 소자들의 배치로 구성된다고 할 수 있다. 스위칭 소자 S1, S2와 병렬로 공진용 콘덴서 Cr이 연결되어 있으며, 직렬로 공진용 인덕터 Lr이 접속된다. 스위치의 턴-온, 턴-오프 시에 대한 각 파라미터의 전압 및 전류파형은 그림 2.4과 같으며, 스위치 동작을 살펴 보면 다음과 같다.

• SW-ON시 : 초기조건으로 인덕터 Lr의 전류 IL는 영이며, 콘덴서 Cr에는 전압 Vc로 충전되어 있다고 가정하면, 스위치 온 직전의 인덕터에 흐르는 전류 IL는 영이므로 스위치 S1, S2의 온 동작은 영전류 스위칭을 이룬다.

• SW-OFF시 : 스위치 오프 직전의 조건으로 콘덴서 Cr의 전압 vc는 영이며 인덕터 Lr에는 전류 Ia가 흐른다고 가정하면, 스위치 오프 직전의 콘덴서에 전압은 영이므로 스위치 S1, S2의 오프 동작은 영전압 스위칭을 이룬다. 스위치의 오프 동작에 의해서 다이오드 D1, D2가 도통되고 LC 직렬공진회로가 다시 형성되어 콘덴서 전압 vc는 증가하고, 인덕터 전류 il는 에너지를 방출한다.

이상에서와 같이 공진회로는 공진 한주기 동안 지속적으로 이루어지지 않고 스위치 턴-온과 턴-오프 시에 공진주기 일부분에서 부분적으로 형성되므로 "부분공진 소프트 스위칭 기법"이라 한다. 이것은 공진 소자들의 용량분담과 스트레스를 줄이고 출력전류가 증가할 경우 공진 손실을 감소 시켜준다. 그리고 부분공진의 기법에 의해 사용된 스위치들은 소프트 스위칭으로 되므로 시스템의 효율을 증대시키고 dv/dt, di/dt에 의한 전자유도 잡음 등을 줄일 수 있다.

제안한 부분공진 회로의 구성을 보면 사용된 공진용 인덕터는 일반적인 승압형 컨버터에 사용되는 에너지 축적용 인덕터로 대체할 수 있으며, 공진용 콘덴서는 스위칭

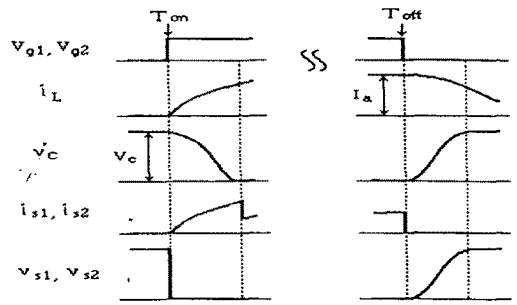


그림 7 PRSS 회로의 동작파형

모드 전력변환기에 이용되는 스너버 회로의 스너버 콘덴서로 대체할 수 있다. 그러므로 인덕터는 승압과 공진용으로 이용되고 스너버 콘덴서가 공진용 소자로 이용됨으로써 회로구조가 간단하다. 그리고 회로내에 사용된 제어소자들의 적정배치로 인해 소자들은 용량분담이 줄고, 제어기법이 간단하다. 또한 스너버 콘덴서는 공진 회로부의 동작에 의해 콘덴서에 축적된 에너지를 회생시켜 무손실 스너버 콘덴서로 되어 변환기의 효율을 더욱 증대시키는 장점이 있다.

이 논문은 '97 공업기반기술개발사업(한국전기연구소 위탁사업)으로 연구되었음.

## 3. 결 론

본 연구에서는 용접기 회로에서 기존의 Hard Switching Pull-Bridge DC-DC 컨버터의 출력 다이오드 브릿지 정류회로에 사용하는 병렬접속 RC-스너버 회로에서의 고출력 용량으로 인한 큰 에너지 소비의 열이 발생하여 이의 열처리를 위한 냉각기술의 난점과 에너지 손실이라는 근본적인 문제점을 해결하기 위하여 새로운 부분공진형 소프트 스위칭 블록을 이용한 무손실 스너버 회로를 제안하여 해석 및 시뮬레이션한 결과 양호한 결과를 얻었다.

## 참 고 문 헌

- (1) 광동걸, 서기영, 이현우 : "고효율고역율 부분공진형 전력변환 장치", 대한전자공학회추계 종합 학술대회 논문집, 제 18권, 2호, pp.1263-1268, 1995
- (2) 김대욱, 이현우 외 4인 : "부분공진 소프트 스위칭기법을 적용한 Pulsed Mag 용접장치", 전자공학회 전력전자회와 회로및 시스템연구회 합동학술 발표회 논문집, pp.7-11, 1997.11.8
- (3) G.E/Cook and Hussam El-Dean E.H. Eassa : "The effect of high-frequency pulsing of a welding arc", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. IA-21, No 5, pp1924-1299, Sept./Oct. 1985
- (4) W.A.Tabisz, P.Gradzki, F.C.Lee : "Zero-Voltage-Switched Quasi-resonant buck and flyback converter-Experimental results at 10MHz", IEEE Trans. on Power Eletrics, vol.4, no.2, April 1989, pp.194-204.