인버터 저항용접기의 전력효율 향상을 위한 AC/DC 컨버터 설계에 관한 연구

곽동걸, 정원석, 강우철*
강원대학교, *한영전기

A Study on AC/DC Converter Design of High Efficiency for Inverter Resistance Welder

D. K. Kwak, W. S. Jung, W. C. Kang*
Kangwon National University, *Hanyoung Electric Co.

ABSTRACT

The inverter resistance welder requires AC/DC converter of high efficiency because the converter changes a commercial ac power source to low voltage dc power source. Harmonic components that occur in the conversion process of converter decrease system power factor and deal great damage in electric power system. To improve such problems, this paper proposes a high efficiency AC/DC converter for inverter resistance welder. The switching devices in the proposed converter are operated by soft switching technique using a new quasi-resonant circuit. As a result, the proposed AC/DC converter obtains low switching power loss and high efficiency.

1. 서론

저항용접기는 압력을 가하여 접합하는 압접법의 일종으로서 각종 압접방법 중에서 가장 많이 사용되고 있으며, 접합하고자 하는 부분에 직접 고전류를 통전하고 그 전류에 의한 저항 발열로 용접부의 온도를 상승시켜 용접하는 것으로써 극히 짧은 시간에 용접이 가능하고 고속, 고능률이므로 특히 대량 생산에 적합하다. 최근에는 작업자의 숙련을 그다지 필요로 하지 않도록 자동화가 끊임없이 추진되고 있고, 운반 및 용접의 품질관리 등을 중앙 제어로 집중 관리하고 있는 추세이다.

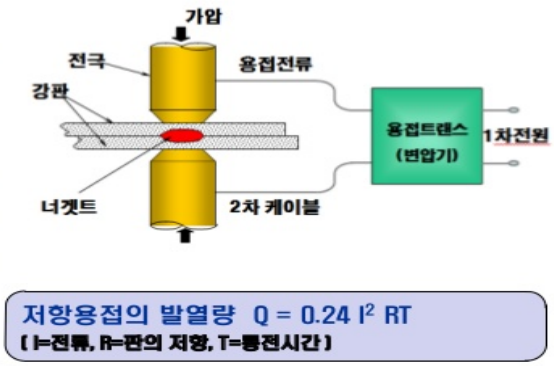

그림 1 저항용접기의 원리도

저항용접 방법은 그림 1과 같이 저항발열을 이용하여 금속 재료를 용접하는 방법으로써, 수냉 동전극으로 용접부를 상하로 가압하고 이 상하 전극간에 집중하여 흐르는 1초 이내의 극히 단시간 전류로 집중 발열(Joule열)시키면서 판 표면과 뒷면의 전극에 의한 냉각 작용을 이용하여 접합부만을 용융시켜 이곳에 용접 너겟트(nugget)을 생성시키게 된다.

저항용접부의 저항치는 극히 적은 약 100μΩ(10^{-4}Ω) 정도 밖에 되지 않는다. 이 때문에 저항용접부에 충분히 집중 가열하여 양호한 용접부를 만들기 위해서는 수천~수만A의 대전류를 필요로 한다. 또한 저항용접 시 전압은 팁간 전압에서 1~10V 정도로써, 이 때문에 용접에 필요한 대전류를 효율적으로 공급하기 위해 용접부와 주전원(공급전압 220V 또는 440V) 간에는 적당한 변압기가 삽입된다. 이러한 저전압 대전류를 공급하기 위하여 인버터식 저항용접기가 이용된다. 인버터 저항용접기는 전력변환 즉, 전압 및 전류, 주파수 제어가 용이하고 용접시간의 단축으로 인한 대량 생산이 가능하고 입력역률을 높일 수 있는 특징이 주어지며, 주파수가 높기 때문에 소형으로 변압기 제작이 가능, 저항용접기의 효율 증대 등의 장점으로 최근 가장 많이 생산 판매되고 있다.

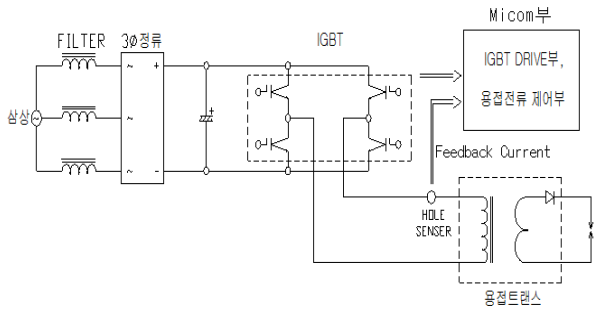

그림 2 인버터 저항용접기

인버터 저항용접기는 그림 2와 같이 삼상 교류전원을 삼상 브릿지 다이오드에 의해 삼상 전파 정류된다. 전파 정류된 직류전원을 4개의 전력용 반도체 스위칭소자(IGBT 또는 Power Tr 등)을 사용하여 고주파 교류전압으로 전력변환 된다. 용접변압기 1차 측에는 대체로 1kHz 또는 2kHz의 스위칭 전류가 흐르고, 2차 측은 수V~수십V의 저전압, 대전류로 변환된다. 그리고 용접변압기의 다이오드를 통해 정류된 전류가 용접점으로 흐르게 되는 제어원리를 가진다. 용접 전류는 인버터의 PWM 스위칭 방식에 의해 제어된다. 그리고 용접 전원(AC 220V/440V)의 변동, 용접할 금속 재료의 성형 산포 등에 의한

불안정한 상황에서도 안정된 저항용접을 얻기 위해서는 항상 일정한 용접 전류를 흘릴 필요가 있으므로, 용접 전류를 피드백하여 마이컴을 이용한 정전류 공급 제어방식이 필요하다. 그러나 인버터 저항용접기는 저전압 대전류가 요구되므로, 커패시터 입력형 정류회로로 인한 입력역률이 현격히 저하되고, 변압기 사용으로 인한 전력효율이 감소되는 단점이 주어진다[1,2].

본 논문에서는 입력단에 새로운 고효율 AC/DC 강압형 컨버터를 설계하여 입력역률을 높이고, 강압형 컨버터 원리에 의한 변압기가 필요치 않는 구조로서 저항용접기의 전력효율을 향상시키고자 한다. 또한 제안한 컨버터에 사용된 반도체 스위칭소자들은 유사 공진회로에 의한 소프트 스위칭으로 동작되어 시스템의 효율을 증가시키는 이점도 주어진다.

2. 고효율 인버터 저항용접기 설계

그림 3은 고효율 AC/DC 강압형 컨버터를 부착한 새로운 인버터 저항용접기의 회로도를 나타낸다.

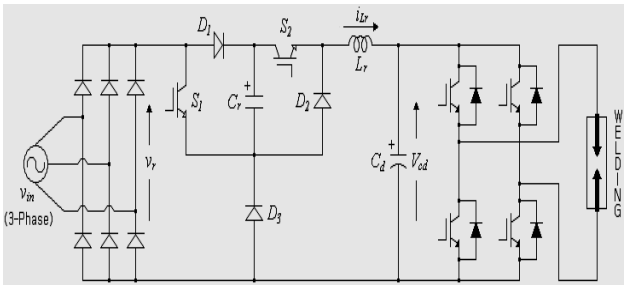

그림 3 새로운 고효율 인버터 저항용접기의 주 회로도

회로구성은 기존의 인버터 저항용접기의 입력측과 인버터부 사이에 고효율의 AC/DC 컨버터가 접속되고, 제안한 컨버터는 강압은 물론 사용된 스위칭소자들의 소프트 스위칭을 위한 유사공진 회로로 동작된다. 유사공진 회로부는 강압용 인덕터 L_r과 기존의 스위치 보호용으로 이용되는 스너버 회로의 스너버 커패시터 C_r과 제어소자들로 구성된다. 또한 제안한 컨버터는 일정 스위칭 주파수에 의한 전류불연속모드로 동작되며, 그리고 사용된 제어스위치 S_1, S_2의 턴-온, 턴-오프 동작은 소프트 스위칭으로 되어 변환기의 효율을 증대시킨다. 공진용 소자로 이용된 스너버 커패시터 C_r은 축적된 에너지를 손실없이 입력측으로 유입시켜 입력전류를 상승시키게 된다. 그 결과 입력전류의 고조파 성분이 감소되어 기존의 인버터 저항용접기와 비교하여 역률을 더욱 증대시키는 특징이 주어진다.

제안한 컨버터의 동작원리는 스위칭 1주기(T_c)에 대해 4가지 동작모드로 구별된다. 동작원리를 살펴보면, 먼저 초기조건으로 스위치 S_1, S_2는 오프이며, 커패시터 C_r에는 정류된 전압 v_r로 충전되어 있다.

o 공진모드 I (T_1, $t_0 \sim t_1$) : 시각 t_0에서 스위치 S_1과 S_2를 동시에 턴-온하면, 회로경로는 v_{r+}-S_1-C_r-S_2-L_r-v_{r-}의 직렬공진 회로가 형성된다. 스위치 턴-온 직전의 인덕터 L_r에 흐르는 전류 i_{Lr}은 영이므로 S_1, S_2는 ZCS로 동작을 한다. 그리고 커패시터 C_r의 전압이 영으로 되면 공진모드 I 은 종료된다.

o 단락모드(T_2, $t_1 \sim t_2$) : 단락모드는 커패시터 전압 v_{Cr}이 영으로 되어 다이오드 D_1과 D_2가 도통되는 모드이다. 제어스위치들에 의한 단락회로가 형성되어 인덕터 L_r의 전류는 S_1-D_3-D_1-S_2로 분류되고 인덕터 L_r은 에너지를 축적한다.

o 공진모드 II (T_3, $t_2 \sim t_3$) : 시각 t_2에서 스위치 S_1, S_2를 오프하면, 인덕터 전류 i_{Lr}은 D_1-C_r-D_2를 통하여 흐르고 인덕터 L_r과 커패시터 C_r은 다시 직렬공진 회로가 되어 C_r을 충전시킨다. 커패시터 C_r와 병렬로 배치된 스위치 S_1, S_2의 턴-오프 동작은 공진 초기에서 커패시터 전압이 영이므로 ZVS로 동작된다.

o 전송모드(T_4, $t_3 \sim t_4$) : 커패시터 C_r의 충전이 끝난 후, 다이오드 D_3을 통하여 인덕터의 전류가 부하측으로 전송되는 모드이다. 그리고 인덕터 전류가 영으로 되면 이 모드는 끝난다.

제안한 컨버터의 스위칭 동작에 대한 각부의 시뮬레이션 동작파형을 그림 4에 나타낸다. 듀티율 30 %인 스위칭 1주기에 대한 유사공진 회로의 인덕터 전류 i_{Lr}과 커패시터 전압 v_{cr} 그리고 제어스위치의 전류 i_{s1}, i_{s2}와 양단전압 v_{s1}, v_{s2}의 동작파형 등을 각 모드별로 나타낸다. 이상의 컴퓨터 시뮬레이션 결과들은 앞서의 이론적 해석의 타당성을 입증시킨다.

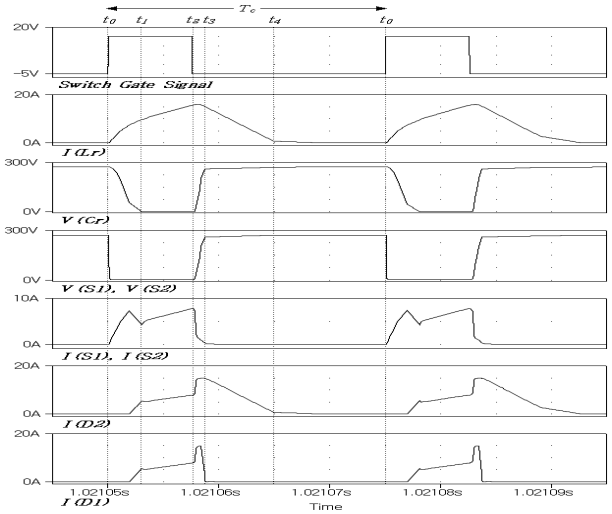

그림 4 제안한 컨버터의 스위칭 1주기에 대한 시뮬레이션 파형

3. 결 론

본 논문에서는 인버터 저항용접기에 적용되는 새로운 고효율 AC/DC 컨버터를 제안하여 기존의 저항용접기와 비교 검토하였다. 제안한 컨버터는 입력단 정류 커패시터가 없어 입력역률을 높이고, 변압기가 필요치 않는 구조로서 저항용접기의 전력효율을 향상시켰다. 또한 컨버터에 사용된 반도체 스위칭소자들은 유사 공진회로에 의한 소프트 스위칭으로 동작되어 시스템의 효율을 증가시키는 이점이 주어졌다.

본 연구는 소상공인시장진흥공단에서 지원하는 2016년 소공인 제품·기술 가치향상 지원사업으로 수행되었음.

참 고 문 헌

[1] D. Sadarnac, etc., "The double discontinuous mode operation of a converter : A method for soft switching", IEEE Trans. on PE, Vol. 19, No. 2, pp. 453-460, 2004.

[2] D. K. Kwak, etc., "A Study on High Efficiency Boost DC-DC Converter of Discontinuous Current Mode Control", Trans. KIEE, Vol. 54B, No. 9, pp. 431-436, 2005.