

마이크로컨트롤러를 이용한 인버터 저항용접기의 실시간제어

방영호, 손영대
동서대학교 전자공학과

Real Time Control of Inverter Resistance Welder Using Microcontroller

Young-Ho Bang, Young-Dae Son
Dept. of Electronics Engineering, Dongseo Univ.

abstract - 본 연구에서는 에너지절감 및 최적의 용접 결과(최소 스파터 등), 변압기 소형화를 위해 16비트 마이크로컨트롤러를 적용한 고주파 인버터식 저항용접기 시스템을 구성하였으며, 용접파라미터의 순시 피드백과 통전시간 제어를 통해 용접조건에 맞는 최적의 용접전력을 모재에 공급할 수 있는 저항용접기를 구현하여 그 특성과 약을 행하였다.

1. 서 론

전기용접기에는 대표적인 것으로서 아크 용접기와 스포트 용접기가 있으며 이들의 원리와 사용방법이 전혀 다르다. 아크 용접기는 교류 또는 직류 아크로 열을 발생시켜 금속을 녹여 용접을 하는 것이며, 스포트 용접기는 금속을 전극으로 눌러 가압하여 직류전류를 흘려서 저항가열로 용접을 한다. 공통점은 모두 전원에서 용접 변압기를 통해 대전류를 흘린다는 것이다.

저항용접기술이란 전기가 저항이 있는 곳을 통과할 때 저항에서 열이 발생하는 것을 이용하여 용접하고자 하는 재료를 접촉시켜 놓고 여기에 큰 전류를 보내어 피 용접 재료의 접합면에 순간적으로 저항열을 발생시켜 용접하는 방법이다

오늘날, 저항용접기술은 항공기, 자동차, 가전제품 등 모든 산업분야에 광범위하게 이용되고 있으며 현장에서 그 비중이 점점 높아지고 있다. 국내에서 생산되고 있는 저항용접기는 국내 제조업계의 활발한 연구개발에도 불구하고 선진국에 비해 그 품질이 떨어지므로 다수 기업들은 고가의 외국산 용접기에 의존하고 있는 실정이다.

산업현장에서 저항용접분야의 생산성을 저해시키는 공통적인 요인을 크게 두 가지로 본다면 과잉 스파터와 용접 트랜서의 부피와 무게일 것이다. 과잉 스파터 문제는 작업자의 숙련도에 따라 차이가 많으므로 작업자의 장기간의 교육이 필요하며, 용접 트랜서는 무게와 중량으로 인해 용접상황에 신속하게 대처하지 못하는 어려움이 있다. 철사공장에서 절단된 철사를 용접하는 데 사용되는 맞대기 용접기(이하, 버트(Butt)용접기)로 작업자들의 숙련을 높이는 용접대회까지 열리고 있는 형편에 있다.

본 연구에서는 우선 트랜서의 경량화와 소형화를 위해 고주파를 출력할 수 있는 인버터 전회로를 저항용접기와 접목시켰다. 그 다음 단계로 저항 용접기의 발열과 가장 밀접한 관계가 있는 2차 부하출력전력을 실시간으로 파악하기 위하여 출력전압, 전류를 검출하였으며, 또한 여기서 유도되는 비선형적인 저항측정값을 근거로 용접시의 상태를 정확하게 파악할 수 있고 기준전력값을 도출할 수 있다.

측정된 전력의 변화에 유연성 있게 전력보상(PI제어기)이 된다면 모재를 녹일 수 있는 온도까지 상대적으로 서서히 올라가 금속을 녹이면서 용접하고 온도가 하강할 때 천천히 소둔처리 제어를 할 수 있다. 그러므로, 저항용접 상황에 맞게 전력을 보상한다면 목적하는 과잉 스파터의 문제가 어느정도 해소될 수 있다고 보고 저항용접기중 버트용접기를 대상으로 실험하였다.

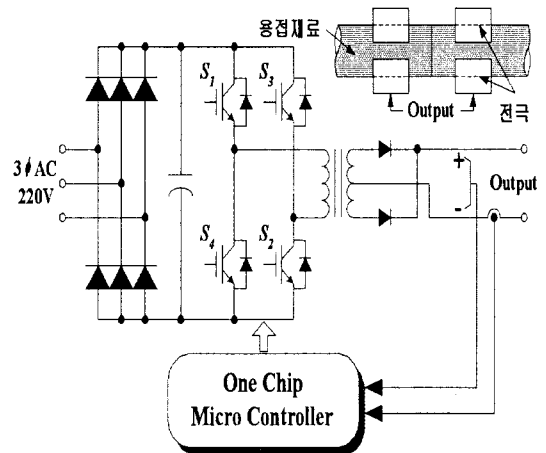


그림 1. 인버터 저항 용접기 회로도

따라서, 본 논문에서는 에너지절감 및 최적의 용접결과(최소 스파터등), 트랜서의 소형화를 위해 16비트 마이크로컨트롤러를 적용한 고주파 인버터식 저항용접기 시스템을 구성하였으며, 용접파라미터의 순시 피드백과 통전시간제어를 통해 용접조건에 맞는 최적의 용접전력을 모재에 공급할 수 있는 저항용접기를 구현하였다.

2. 본 론

2.1 저항용접기의 원리와 특성

저항용접에 있어 가압력과 용접전류, 통전시간은 용접결과에 중요한 영향을 미친다. 주울열의 법칙은 아래와 같다.

$$Q = 0.24I^2R(\text{cal}) \quad (1)$$

위 식에서 알 수 있듯이 용접시에 금속표면에 발생하는 열은 통전시간, 모재의 저항 및 용접전류의 제곱에 비례하여 생긴다. 그러나 실제로는 모재의 표면상황과 상태, 그리고 접촉면적, 모재의 금속종류 등 여러가지 많은 비선형적인 변수에 따라 복잡하게 변동한다. 또한, 주울열의 법칙에 따라 금속의 온도가 상승한다고 가정할 때 모재의 저항이 변하게 된다.

용접기의 전극전압은 다음과 같다.

$$v(t) = i(t)R(t) + L \frac{di(t)}{dt} \quad (2)$$

여기서, $di(t)/dt=0$ (DC를 전극에 공급 할 때)이 된다면 등가용접저항은 다음과 같다.

$$R(t) = \frac{v(t)}{i(t)} \quad (3)$$

- $v(t)$: 양전극간의 전압, 용접전압
- $i(t)$: 전극의 전류, 용접전류
- $R(t)$: 전극간 저항, 용접저항
- L : 전극간 등가인덕턴스

따라서, 모재양단의 전압과 전류로부터 모재의 등가저항을 환산할 수 있다. 용접시간 동안의 발열로 인해 모재간의 접촉면과 용접 나게트에 물리적인 변화가 생기며 용접 나게트와 주변 온도가 상승하게 되며 결국 나게트가 팽창하게 되고 그 저항값이 변동하게 된다. 이런 물리적인 현상을 고려하지 않은 일정 전류제어법은 모재저항 변동에 의한 발열의 변화로 인해 불필요하게 스패터를 증가시키는 요인으로 작용하며, 저항용접후 작업자의 숙련 정도에 따라 스패터 제거에 비교적 장시간이 소요된다.

그림 2는 시간에 따른 저항변화와 용접현상을 나타내며 이를 관찰해 보면 다음과 같은 부분적 결과를 얻을 수 있다. 실제, 이 모든 과정은 1초내에 일어나는 아주 짧은 시간동안의 현상이다.

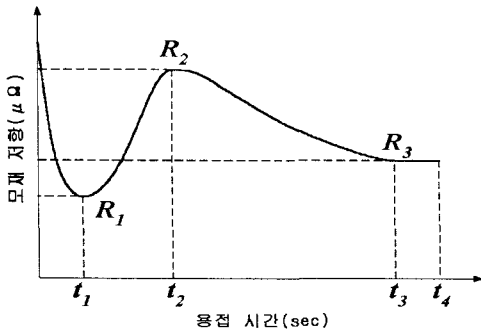


그림 2. 저항용접시 시간에 따른 용접저항 변화

이 그림에서 알 수 있듯이 0~ t_1 기간은 나게트가 형성되지 않고 모재저항과 접촉저항을 합한 값이 나타나는 구간이며 짧은 시간내에 소멸한다. $t_1 \sim t_2$ 기간은 나게트가 형성되기 시작하며 용접 모재의 온도가 상승함에 따라 용접저항이 최대 R_2 만큼 상승한다. 즉, 고유저항만 남아 금속표면의 온도를 상승시키면 금속의 고유저항이 비례적으로 상승한다. $t_2 \sim t_3$ 기간 동안 나게트 사이즈와 접촉면이 커지게 되면 용접저항이 감소하게 된다. 또한, 나게트 크기와 용접저항의 변화가 완만해 짐에 따라 다음 기간 즉, 열을 계속 유지하는 $t_3 \sim t_4$ 기간으로 넘어가게 된다. 이 기간은 나게트 크기와 용접저항이 매우 작게 변화하고 열과 전류가 모재의 나머지 부분으로 확산해 나가는 열유지 기간이다. 따라서, 위의 전체 기간동안 실제 금속을 용해시켜 일정한 가압력으로 용접하게 된다.

결과적으로, 용접저항의 다이내믹 변화로부터 나게트 형성과정을 알 수 있으며, 측정불가능한 출력을 사용하는 대신 용접과정을 추론하는 근거가 된다.

2.2 고주파 인버터 회로구성

고주파 인버터방식 저항용접기를 그림 1에 나타내었다. 그림에서 정류부는 일반적인 다이오드 정류기를 사용하여 3상 교류를 직류로 변환하였다. 이러한 직류 출력전압은

단상 풀브리지 인버터를 통해 고주파 교류로 변환되어 고주파 변압기의 1차측으로 인가되며 변압기의 2차측과 출력측 전파정류를 거쳐 일정 직류전원이 버트 용접기에 인가된다. 고주파 인버터 저항용접기는 회로가 복잡하다는 단점이 있지만 스위칭주파수를 조절함으로써 원하는 출력전압, 전류의 파형을 얻을 수 있다.

또한, 용접작업 중단시의 변압기의 무부하 손실을 자동적으로 차단시키기가 용이하므로 에너지절약 차원에서 우수한 기능을 발휘하며, 큰 용접전류를 신속히 얻을 수 있어 금속이 녹는점에 빨리 이르도록 한다.

이와 같이 고주파 인버터는 저항용접기의 전원특성에 잘 부합되므로 용접트랜스와 함께 적절히 설계하면 정밀한 출력제어가 가능하게 된다.

2.3 고주파 인버터회로 동작모드

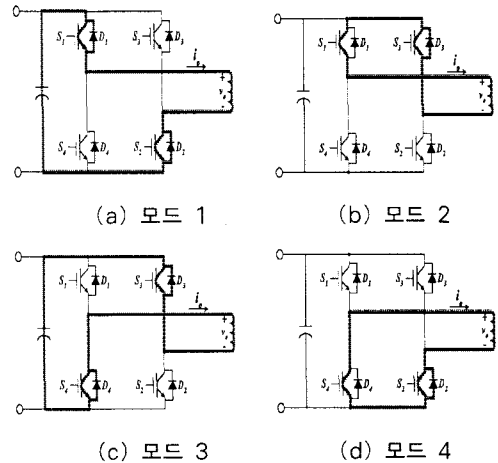


그림 3 인버터의 회로 동작모드

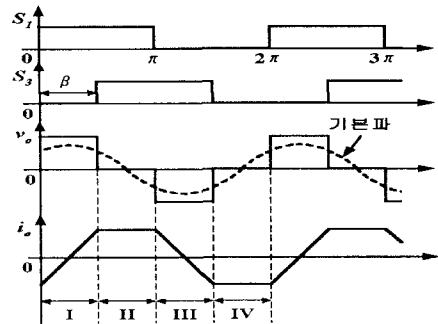


그림 4. 단상 풀브리지 인버터의 동작파형

그림 1의 단상 풀브리지 인버터에서 각 풀전압이 구형파이고 두 풀전압의 위상차가 β 가 되도록 제어하면 그림 4와 같이 출력전압은 준구형파가 된다. 여기서, β 는 준구형파의 기본파 크기를 조절하는 제어변수가 된다.

그림 3(a)의 모드 1에서는 스위치 S_1 과 S_2 가 턴온되어 출력전류가 증가하는 구간이며, 직류링크 전압이 출력에 걸린다. 이 때, 부하전류 i_o 가 음이면 S_1 과 S_2 가 턴온되어 있음에도 불구하고 실제의 출력전류는 D_1 과 D_2 를 통해 흐른다.

그림 3(b)의 모드 2에서는 S_1 과 S_3 가 턴온상태이며

D_3 와 S_1 을 통해 출력전류가 환류한다. 그림 3(c)의 모드 3에서 S_1 을 턴오프하고 동시에 S_4 를 턴온하면 S_1 과 D_3 로 환류하던 전류는 D_4 와 D_3 를 통해 입력전원으로 회생되며 전류가 음의 방향으로 선형적으로 증가한다. 마지막으로 S_3 를 턴오프, S_2 를 턴온하면 출력전류는 D_2 와 S_4 를 통해 환류되고 S_1 을 턴온할 때까지 모드 4는 계속된다.

2.4 순시전력제어기

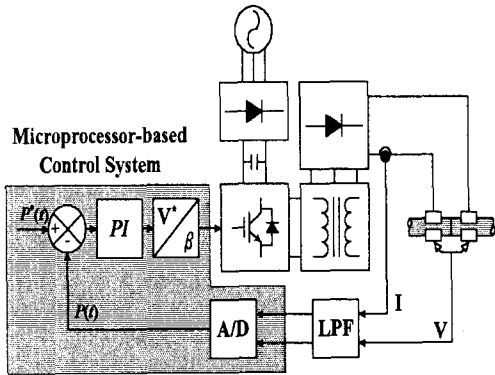


그림 5. 저항용접기의 제어블럭선도

앞에서도 서술했듯이 저항용접시의 제어방법중 일정전류 제어법은 용접시의 모재저항 변동에 의한 발생열의 변화 때문에 스파트가 증가하게 된다. 따라서, 모재에서 발생하는 열을 일정하게 유지시켜 주기 위해서는 일정전력을 공급해 주는게 타당하다. 이 일정전력제어법은 저항용접기의 출력전류와 출력전압의 곱인 출력전력을 일정하게 유지시키는 방법이다. 즉, 순시전압과 전류를 측정하여 실시간의 전력의 상태를 검출하여 이를 기준 전력과 비교한 결과를 PI 보상하여 이를 인버터에서 출력할 수 있도록 인버터의 위상-변위제어를 통해 일정전력제어를 행한다. 또한, 일반적인 저항용접기에서 많이 사용하는 방식인 2단통전방식과 특정시간동안 서서히 온도를 올리고 내리는 경사파형 저항용접을 행하여 스파트가 거의 없는 균등한 용접결과를 얻도록 하였다. 용접과정에서 주요하게 제어해야 할 기간은 그림 2에서 알 수 있듯이 $t_1 \sim t_2$ 기간이며, 이 기간동안에는 모재재속의 고유저항만 남아서 나겟트가 만들어지기 시작한다. 이 기간의 용접전류와 상승하는 고유저항과의 관계를 이용하여 최적의 용접온도를 순시제어하였다.

본 연구의 주제어기로서는 원칩 컨트롤러(80C196KC)를 사용하였으며, 순시 전력제어를 위해 용접전압과 용접전류를 순시 피드백 시켜 A/D변환기에 입력시킨다. 내장되어 있는 제어 프로그램은 크게 시스템 초기화부, A/D 변환부, 게이트 구동신호 발생부 및 제어부로 구성되어 있다.

초기화부는 각종 변수들의 초기화 및 소프트웨어 타이머 인터럽트를 가능하게 하고 대기하는 부분으로서 모니터링 PC에서의 입력을 기다리는 상태까지를 담당한다. 주 샘플링시간은 $200 \mu\text{sec}$ 간격이며 이 시간간격마다 소프트웨어 타이머 인터럽트를 발생시켜 A/D변환기로 검출된 전압과 전류값을 입력하고, PI제어기를 수행한 뒤 HSO를 통해 단상 풀브리지 인버터의 IGBT소자의 게이트 구동신호를 발생한다. 따라서, 일정한 전력, 즉 일정한 열을 유지시키게 하는 적합한 전력을 단상 풀브리지 인버터의 위상-변위제어를 통해 발생하도록 구현하였다.

인버터부에서는 회로 및 IGBT 등을 보호하기 위해 4가지 보호회로를 설계하였다. 즉, 과전류, 과전압, 과열, 저전압 보호회로를 구성하여 폴트시 발생하는 사고를 미연에 방지하였다. 과전류는 인버터 직류링크단에서 저항으로 검출하며, 과전압은 직류링크단 커패시터 전압을, 과열은 전력소자 모듈의 온도를, 저전압은 직류링크단 커패시터 전압의 레벨을 감지하여 사고발생시 게이트 구동회로 신호를 차단하도록 하였다.

3. 결론

전기용접기의 에너지 절약, 전력절감 대책은 단순히 전기용접기의 전원을 개량하는 것만으로 그치지 않으며 용접작업 순서나 방법의 연구, 스폿트 용접기나 버트용접기에서의 공기가압계의 개량, 배선설비의 개선, 심지어는 새로운 용접법 개발을 포함하여 종합적으로 진보해 가는 것이 필요하다.

본 연구에서는 최적의 용접온도를 제어하기 위하여 용접전압과 용접전류를 마이크로컨트롤러에 순시 피드백시켜 일정한 전력 즉, 용접물에 맞는 일정한 열을 유지시키게 하는 적합한 전력을 실시간으로 보상하였다.

따라서, 다음과 같은 개선사항을 얻을 수 있다.

- 보다 소형, 경량의 용접트랜서를 제작할 수 있다.
- 무부하손으로 인한 에너지의 낭비를 줄일 수 있다.
- 2차측 권선의 직류출력으로 인해 출력손실을 감소시켰다.
- 용접시 발생하는 spatter양을 감소하였다.
- 온도상승에 따른 고유저항의 상승을 고려한 탄력있는 용접법으로 용접품질의 향상을 기하였다.

실험을 위한 구성회로 제작 및 실용성 고려에 대해 추가 연구가 필요하며, 저항용접기의 가압력 또한 저항의 변화에 중요한 영향을 주기 때문에 그 이론을 보완하여 출력의 전압과 전류파형 제어에 계속적인 연구가 필요하다고 생각된다.

본 연구는 '98년도 동서대학교 교내연구비에 의해 수행된 연구결과의 일부임.

[참고문헌]

- [1] Xingqiao Chen and Kenji Araki, "Fuzzy Adaptive Process Control of Resistance Spot Welding with a Current Reference Model", *IEEE ICIPS*, pp. 190~194, Oct. 1997.
- [2] 김 명준, 저항용접, pp. 248 ~ 250, 기문사, 1993.9
- [3] H. Meck, W. Fischer, F. Werther, "Soft Switching Inverter Power Source For Arc Welding", *EPE'97*, Vol.4, pp.333 ~ 337, 1997.
- [4] 채 영민의 3인, "싱글칩 마이크로프로세서 제어에 의한 인버터 아크 용접기 특성에 관한 연구", 전기학회 논문지, Vol.45, No.10, pp.1481~1485, 1997.
- [5] 노의철의 2인, 전력전자공학, pp.361~386, 1997.