

인버터 저항 점용접 장치의 PWM제어에 관한 연구

권효철, 최용범
(주)효성 중공업연구소

Study on PWM Control in Inverter Resistance Spot Welding

Hyo Chul Kwon, Yong Bum Choi
Hyosung Co. Power & Industrial Systems R&D Center

ABSTRACT

Nowadays, inverter welding is risen in spot welding, because can secure productivity. This study made changed output wave form of inverter welding equipment by several forms and measured electric current that pass to the second of transformer for welding. Purpose of study is finding electric current of most suitable form. Also, studied applies PID control in electric current control of inverter resistance weld device and heightens electric current precision.

1. 서론

저항 점용접은 1877년 Elihu Thomson에 의해 발명된 용접 공정으로 두 개의 금속판을 맞대어 놓고 압력을 가하면서 0.5 초 이내의 짧은 시간동안 수천 암페어의 전류를 흘려 금속판 사이의 접촉면에서 접촉저항(contact resistance)에 의한 주울 열(joule heating)을 발생시켜 금속판 접촉부에 타원체(ellipse) 모양의 용융부(nugget)를 형성하여 접합하는 전기 저항 용접 공정이다.

이러한 저항용접의 주된 방식은 사이리스터를 이용한 위상 제어 방식이다. 이는 마이크로프로세서를 이용하여 사이리스터의 정확한 전류통전 게이트 타이밍을 변화시켜 전류량을 조절하는 방식으로 단상의 전압 파형을 180°의 각도 내에서 제어하기 때문에 전류의 feedback을 RMS값으로 읽어야만 하며, 8.3mS라는 60Hz의 반주기 단위로 밖에 제어가 되지 않으므로 미세한 제어가 불가능한 단점을 가지고 있다. 또한 교류 파형으로 인한 가열과 냉각의 반복은 같은 열량을 공급하는데 더 많은 시간이 들어갈 수밖에 없다.

사이리스터의 단점을 보완하기 위해 대두 되고 있는 것이 inverter를 이용한 점용접 방식이다. 기존의 사이리스터 방식이 아닌 IGBT를 이용하여 고속스위칭으로 전류를 통전하는 방식으로, 고용량의 콘덴서에 충전되어 있는 전하를 IGBT의 스위칭을 통해 전류를 흘린다.

Inverter 저항용접의 장점은 소형, 경량의 용접 transformer를 이용하여 큰 용접 전류를 흐르게 할 수 있다는 것과 교류식에 비해 용접성이 월등히 좋아진다는 것이다.

Inverter 방식의 저항용접에서 2차측에서는 전류는 직류형태로 흐르게 만드는데 이것은 식(1)에서 보는바와 같이 높은 주파수로 인하여 임피던스가 높아지기 때문이다.

$$I = \frac{E_2}{Z} = \frac{E_2}{\sqrt{(R)^2 + (2xfL)^2}} \quad (1)$$

이러한 이유로 1차와 2차의 전류·전압 파형은 서로 다른 형태를 가지게 된다. 결국 어떤 주파수로 어떤 형태의 전류 파형을 만들어 주느냐는 용접 품질에 있어서 상당한 부분을 차지하게 된다.

2. 실험장치의 구성

본 실험에서 사용한 inverter 용접장치의 구성도를 보면 그림1과 같다.

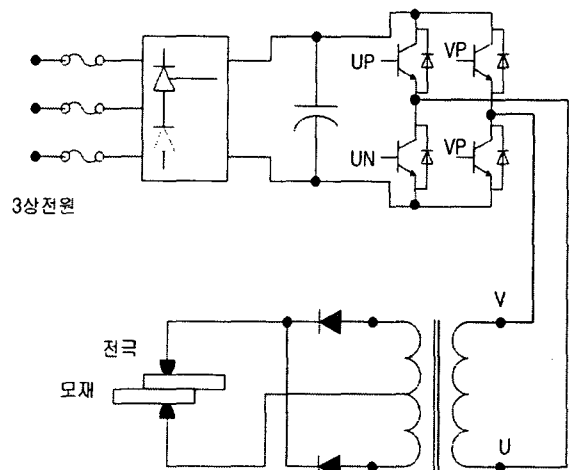


그림 2 인버터 점용접 시스템
FIG. 1 Inverter spot welding system

3상의 전원을 사이리스터를 이용하여 정류한 뒤 커패시터에 전하를 저장한다. 저장된 전하는 고속의 주파수로 on/off되는 IGBT모듈을 통해 인버터 용접용 transformer의 1차측에 인가되며 transformer의 2차측에는 다이오드로 정류된 직류 파형이 전극을 통해 용접모재에 전달되게 된다.

용접주파수는 보통의 경우 600Hz부터 1kHz까지 사용되는데 60Hz보다 높은 주파수 영역을 가지기 때문에 인버터 용접용 transformer는 기존의 것과는 다른 형태로 제작이 된다. 식(2)와 같이 주파수와 단면적의 관계가 표현 된다.

$$s_i = \frac{f}{f_i} s \quad (2)$$

여기서 s_i 는 inverter식 transformer의 단면적, f_i 는 inverter 주파수, f 는 교수식 주파수, s 는 교류식 transformer의 단면적이다. 위 식(2)에서 보는 바와 같이 주파수의 배율만큼 단면적이 작아지는 효과를 볼 수 있다. 하지만 2차측에 정류기를 부착하여야 하기 때문에 실질적으로 1/3~1/4정도 작아진다.

IGBT의 모듈에 PWM신호를 인가하는 장치로는 12bit의 A/D channel이 내장되어 있는 TI사의 TMS320F2812를 사용한 control unit을 사용하였다. TMS320F2812에는 PWM을 출력을 위한 모듈이 내장 되어 있어 모터제어 또는 용접기 제어를 위한 PWM을 사용자의 편의에 따라 CPU에 부담을 최소화 하여 출력할 수 있다.

3. 용접 전류를 위한 PWM 출력

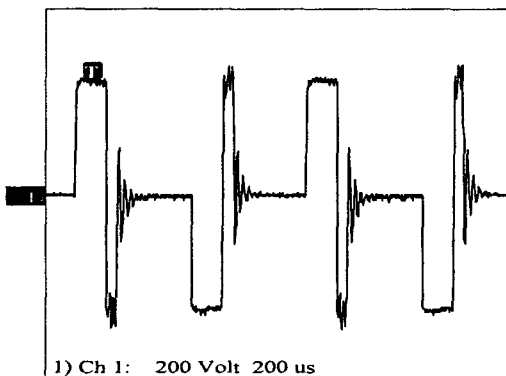
Inverter 용접에서 사용하는 PWM주파수는 위에서 밝힌 바와 같이 600Hz에서 1kHz정도이다. 이 주파수는 inverter transformer에 직접 인가되기 때문에 transformer가 가지고 있는 inductance와 포화 용량 등을 고려한 전압파형과 전류형태를 가져야 한다.

위 그림1에서 보는 바와 같이 4개의 IGBT switch로 구성되는데 UP와 UN, VP와 VN은 서로 반대의 신호이다. UP와 UN의 신호가 동시에 ON되면 IGBT의 소손으로 이어질 수 있기 때문에, 이를 방지하기 위하여 deadtime 시간을 주어 스위칭시 TURN ON, OFF delay로 인해 동시에 ON되는 것을 방지한다. 본 실험에서는 2 μ Sec의 deadtime을 주었다.

3.1 일반적 PWM 출력

일반적인 inverter용접기의 경우 반주기에 한번의 gate signal로 전류를 용접 회로에 인가한다.

a) 전압파형



b) 전류파형

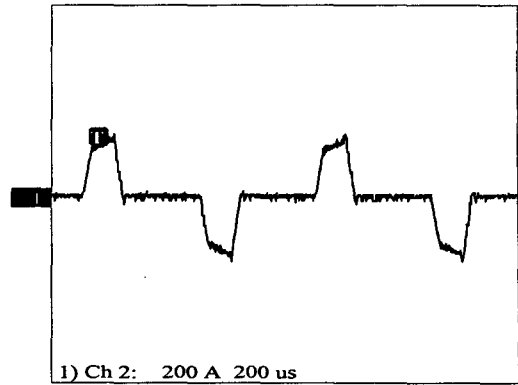


그림 2 IGBT 전압파형과 전류파형
FIG. 2 Voltage & current wave form of IGBT

위 그림2는 1kHz의 주파수에서 IGBT 게이트 신호를 반주기에 한번의 gate signal을 주었을 때 출력되는 전압과 전류 파형이다. 보는 바와 같이 상하의 2 pulse로 1 주기를 이루고 있으며 반주기는 1개의 pulse로 만들어 진다. 즉, 그래프상의 상향 pulse에서 그 다음 상향 pulse의 사이가 1주기동안의 시간을 나타낸다. Pulse의 폭이 넓어지면 그만큼 전류의 세기도 늘어나게 된다.

3.2 정현파형 PWM 출력

전력분야 또는 모터제어에 일반적으로 쓰이는 inverter의 출력파형은 정현파를 사용하고 있다. 이는 60Hz의 전력 계통과 연계하거나 교류 모터 등을 사용하기 위한 목적이다.

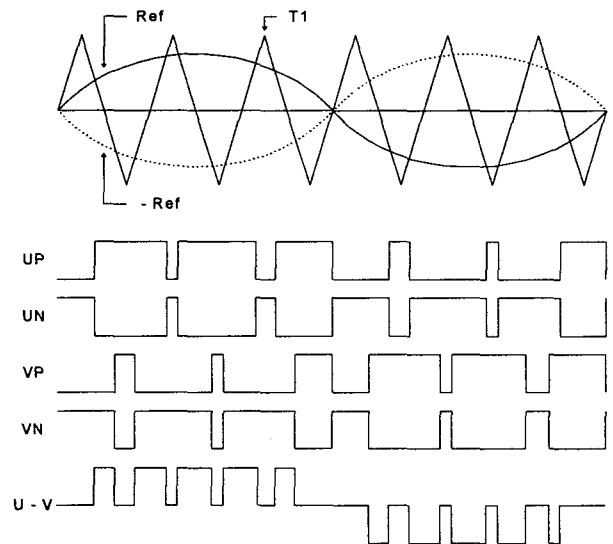


그림 3 정현파 생성을 위한 게이트 신호
FIG. 3 Gate signal for sine wave

위 그림3에서 나타난 것처럼 PWM은 삼각파와 REF를 비교하는 방식으로 사용한다. U상에는 REF와 삼각파를 비교한 결과 값을 입력하고 V상에는 -REF와 삼각파를 비교한 파형을 입력하여 출력이 되도록 하고 있다. 결과적으로 인버터의 출력은 U-V의 파형이 된다.

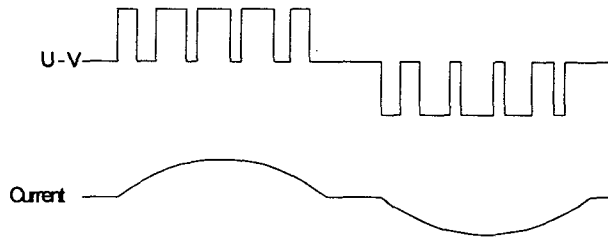


그림 4 IGBT 출력 전압과 전류 파형
FIG. 4 Output voltage & current wave form IGBT

위 그림4는 IGBT의 정현파 형태의 전류와 전압 파형을 도시하고 있다. 이 경우 1주기에 해당하는 시간동안 전압 pulse는 여러 차례 출력이 되며 전류 파형에서 1주기에 상하 각 1번씩의 파형이 출력 된다.

4. PID제어를 통한 PWM 출력

PID(Proportional-plus-Integrate-plus-Derivative)제어는 실제 산업현장에서 가장 많이 사용되는 제어기법이다. Controller의 출력(u)는 다음과 같은 수식(3)으로 표현된다.

$$u = K_p e + K_I \int e dt + K_D \frac{de}{dt} \quad (3)$$

여기서 K_p 는 오차신호에 곱해지는 비례이득이며, K_I 는 오차신호를 적분한 값에 곱해지는 적분이득이며, K_D 는 오차신호를 미분한 값에 곱해지는 미분이득이다. PID 제어기의 성능은 이득값을 어떻게 정하느냐에 따라 달려있으며 이를 전달 함수 형태로 나타내면 다음과 같은 식(4)로 다시 쓸 수 있다.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_{ps} + K_I \frac{1}{s} + K_D s = \frac{K_D s^2 + K_{ps} + K_I}{s} \quad (4)$$

위 식을 이용하여 PID 이득값 변화에 대한 플랜트 응답 특성을 보면 다음 표(1)과 같다.

표 1 PID 이득값 변화에 대한 플랜트 응답특성
Table 1 Plant response about PID gains value change

응답특성 이득값	상승시간	오버슈트	정착시간	정상상태오차
K_p	감소	증가	약간 변화	감소
K_I	감소	증가	증가	제거
K_D	약간변화	감소	감소	약간 변화

PID제어를 통해 통전 전류를 제어하면 다음 그림과 같은 형태의 파형이 나온다.

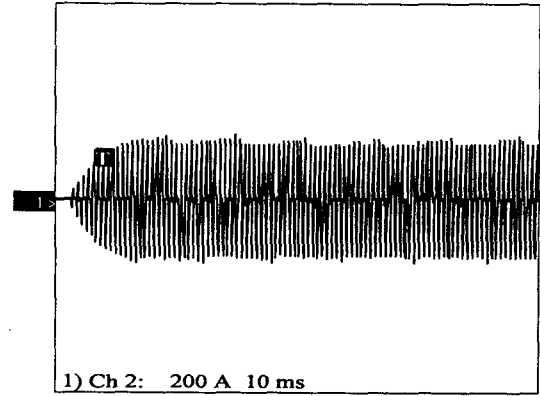


그림 5 PID제어를 이용한 전류 제어
FIG. 5 Using PID control for current control

5. 결론

인버터 점용접에 있어서 전류제어에 필요한 여러 가지 요소들 중 입력 파형을 만드는 방법과 그 제어 방법에 대하여 살펴보았다. 단순 사각파형의 PWM제어와 정현파 구현을 통한 전류통전 가능성을 보였으며 전류량을 PID제어를 통하여 제어할 수 있음을 보았다.

이후 연구에서는 여러 전류 파형에 따른 용접성 test와 정현파 구현시 전류정도를 많은 시험을 통하여 연구해야 할 것이다. 또한, 통전 손실 등이 최소화 되는 회로를 구성하여 용접 효율을 높이는 방향 또한 논의 되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 김명준, 저항용접, 기문사, 1996
- [2] SPOT 저항 용접 제어 기술, 금원사, 1994. 6.
- [3] 조승범, 저항 점용접에서 입열량제어에 관한 연구, 명지대학교 석사논문, 2002.
- [4] 백종철, TMS320F28X CPU 핸드북, 싱크웍스, 2005.