

마이크로제어기를 사용한 아크 용접기의 제어 시스템 구현

전태원 · 김무경
전기전자정보시스템공학부

<요 약>

본 논문은 아날로그회로의 오차를 제거하면서 부품 수를 줄이기 위하여 싸이리스터 제어형 아크용접기의 제어시스템을 디지털화 하는 방법을 제시하였다. EPLD로 3상 컨버터의 싸이리스터 게이트 발생회로를 구현하였으며, 실험을 통하여 본 논문에서 제시한 방법의 타당성을 확인하였다.

Implementation of Control System in Arc Welding Machine Using Microcontroller

Tae-Won Chun · Mu-Kyung Kim
Department of Electrical Eng.

<Abstract>

This paper proposes the digitalization method for control system in thyristor controlled arc welding machine in order to delete offsets in analog circuit and reduce the number of devices. The algorithm to generate gating pulses of thyristor at 3-phase controlled rectifier with EPLD is suggested, and the proposed method is verified with experimental results.

1. 서 론

용접은 중화학공업의 생산현장에서 그 이용도가 크게 넓어졌을 뿐만 아니라 생산제품의 성능과 수명에 직결되어 있는 생산 기술분야에서도 그 중요성이 크게 강화되고 있고, 특히

각종 구조물의 제작 및 수리공작에서 그 접합법의 90%가 용접작업에 의존하고 있는 실정이다. 용접기 중 CO₂ 아크 용접기는 용제를 사용하지 않으므로 용접부에 슬래그 섞임이 없고, 용접 후 처리도 간단하다. 또한 수소 함유량이 적어 우수한 용접금속을 얻을 수 있으며, 은점 등 수소에 의한 결함이 거의 없다는 장점때문에 많이 사용되고 있다.^{[1]-[3]} 그런데 이 아크 용접기 전압 및 전류를 제어하기 위한 제어루우프는 디지털로 구현하지만 제어정류기의 싸이리스터 게이트 발생회로는 거의 모두 아날로그 회로로 구성되어 있다. 따라서 아날로그 소자인 다이오드의 장벽전위, op amp의 옴셋전압 등으로 인하여 전압제어 성능이 저하되며 또한 회로가 상당히 복잡하다는 문제점이 있다.^{[4]-[5]}

본 논문에서는 마이크로제어기와 EPLD를 사용하여 용접기 전압제어 루우프 뿐만 아니라 싸이리스터 게이트 발생회로까지 모두 디지털화 시키는 방법을 제시한다. 이 방식으로 아날로그회로에서 발생하는 여러 오차를 제거하여 전압제어 성능을 향상시키고 제어회로를 상당히 간단히 할 수 있는 장점이 있다. 먼저 제어정류기의 동작특성에 대하여 설명하고, EPLD를 사용하여 6개의 게이트 신호발생 방법을 제시하며 실제 실험을 통하여 타당성을 확인한다.

2. 컨버터(Converter) 전력회로 분석

용접기 직류전압의 크기를 제어하기 위한 싸이리스터 제어형 용접기의 반도체 전력회로는 그림 1과 같다. 3상 교류전압과 이 3상 전압의 극성을 반전시킨 3상 교류전압 등 두 종류의 3상 전압을 출력하는 interphase 변압기에 싸이리스터 게이트 신호의 위상각을 제어하여 3상 교류전압을 가변 직류전압으로 변환시키는 제어정류기는 P-컨버터와 N-컨버터로 구성된다.

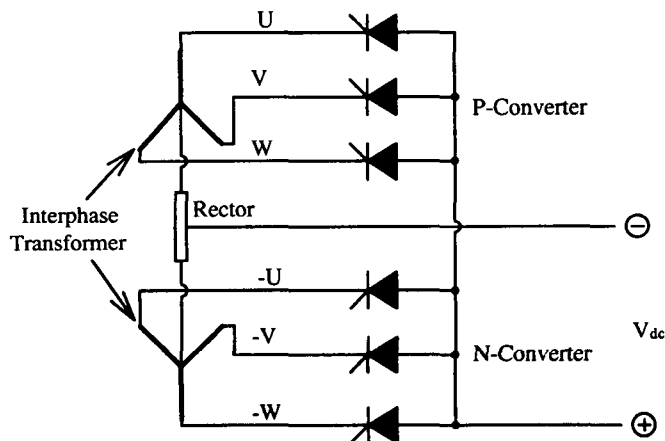


그림 1 Interphase 변압기 및 제어정류기

Fig. 1 Interphase transformer and controlled rectifier

Interphase 변압기의 U, V, W상에 3개의 싸이리스터에 연결한 컨버터는 P-컨버터이며

interphase 변압기의 -U, -V, -W상에 3개의 싸이리스터에 연결한 컨버터는 N-컨버터라고 한다. 이 6상의 교류전압을 각 상 마다 연결된 6개 싸이리스터의 위상각을 제어하여 가변 직류 출력전압으로 변환시킨다. 지연각 (delay angle) α 에 대하여 P-컨버터의 3개 싸이리스터 위상각은 다음과 같이 각각 $(2/3)\pi$ 의 위상차를 가진다.

$$\alpha, \quad \alpha + \frac{2}{3}\pi, \quad \alpha + \frac{4}{3}\pi \quad (1)$$

한편 N-컨버터는 반전된 3상전압에 연결되어 있으므로, 이 컨버터의 3개 싸이리스터 지연각은 다음 식과 같이 P-컨버터의 3상 위상각에 대하여 π 만큼 더한 값이 된다.

$$\alpha + \pi, \quad \alpha + \frac{5}{3}\pi, \quad \alpha + \frac{7}{3}\pi \quad (2)$$

여기서 지연각 α 에 대한 제어전류기의 출력전압의 평균값은 다음 식과 같다.

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_s \cos \alpha \propto \cos \alpha \quad (3)$$

이 식에서 보면 V_{dc} 는 $\cos \alpha$ 에 비례하므로 V_{dc} 는 지연각 α 에 대하여 선형적으로 제어할 수 없으므로 전압제어 능력이 상당히 저하된다. 따라서 제어입력 u 를 사용하며, 이 제어입력 u 와 지연각 α 의 관계를 다음 식과 같이 설정한다.

$$\cos \alpha = u \quad (4)$$

$$\alpha = \cos^{-1} u \quad (5)$$

식(5)를 식(3)에 대입하면, V_{dc} 는 다음 식과 같이 제어 입력 u 에 비례한다.

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_s u \propto u \quad (6)$$

3. 게이트 신호 발생회로

용접전압 제어기에서 출력된 제어입력은 식(5)와 같이 \cos^{-1} 의 함수를 사용하여 지연각 α 를 계산한다. 이때 \cos^{-1} 의 함수를 계산할 경우 계산시간이 너무 소요되므로 본 연구에서는 그림 2와 같은 조건표 (look-up table)를 사용하였다.

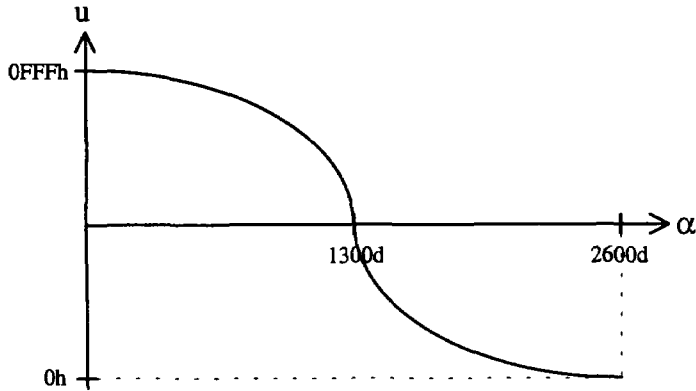


그림 2 Cos^{-1} 조건표
Fig. 2 Look up table for cos^{-1}

제어입력 u 가 $-1 \sim +1$ 까지 범위를 $0 \sim 0FFh$ 의 범위 즉 4096개의 테이블로 작성하였으며, 제어입력에 대한 지연각 α 의 범위 $0 \sim \pi$ 는 $0 \sim 2600d$ 의 값으로 환산하여 저장하였다. 그런데 지연각 $\alpha=0$ 일 경우 교류전압이 0지점에 통과되는 시점에서 $\pi/3$ 지연되어 게이트 신호를 발생시키므로, 위상각 ωt 와 α 와는 다음과 같은 식과 같이 표현된다.

$$\omega t = \alpha + \pi/3 \quad (7)$$

3상 교류전압이 0점을 통과되는 시점을 검출하기 위하여 3상 전압에 대하여 각각 zero-crossing 회로를 사용한다. 그림 3은 $\alpha = \pi/6$ 일 경우, a상 전압 V_{as} 와 3상 교류전압이 zero-crossing 회로를 통해 출력된 3개의 파형 V_{as}' , V_{bs}' , V_{cs}' 및 P-컨버터와 N-컨버터의 a상 싸이리스터에 인가되는 게이트신호를 보인 것이다. 3상 zero crossing 회로 출력은 각각 $(2/3)\pi$ 위상차를 가지는 구형파이며, 이 파형으로 3상 교류전압이 0지점과 교차되는 시점을 검출한다. 여기서, P-컨버터의 a상 게이트 신호를 식(7)과 같이 $\omega t = \alpha + \pi/3$ 에서 발생시키기 위하여 먼저 $\omega t = \pi/3$ 지점은 검출하여야한다. 그림 3에서 보면 c상의 zero crossing 출력파형 V_{cs}' 의 하강지점과 a상의 $\pi/3$ 지연시점과 일치하므로, a상 게이트 신호 발생회로에서 V_{cs}' 의 하강지점을 이용한다.

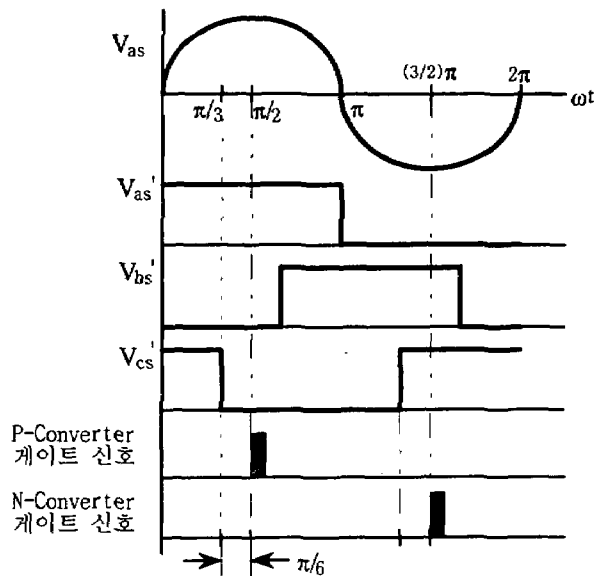


그림 3 $\alpha = \pi/6$ 일 때 a상 게이트 신호 파형
 Fig. 3 Waveform of a-phase gate signal at $\alpha = \pi/6$

그림 4는 a상 게이트 신호 발생회로의 블록도이다. 마이크로 제어기에서 매 샘플링시간마다 전압제어루우프를 수행한 후 출력된 제어입력 u 에 대한 지연각 α 값을 \cos^{-1} 조건표에서 읽은 후 래치시킨다. V_{cs}' 파형의 하강부분을 검출하여 one-shot 회로를 통과하고 12비트 카운터의 loading 신호가 된다. 이 loading 신호가 발생되면 조건표에서 읽은 지연각이 카운터에 loading되면서 카운터는 다운 카운팅 (down counting)을 시작하여, 이 카운터 값이 0이 되면 카운터에서 신호가 출력된다. 이 출력신호를 one-shot 회로를 통해서 $26\mu s$ 폭의 단 펄스를 만들고, 게이트 디코더에서는 이 게이트 신호가 P-컨버터의 게이트 신호인지 N-컨버터의 게이트 신호인지를 V_{cs}' 에 의해 판별한다. 즉 P-컨버터의 위상각이 α 일 때 N-컨버터의 위상각은 $\alpha + \pi$ 으로 180° 위상차가 있으므로, V_{cs}' 가 +5V일 경우에는 P-컨버터, 0V일 경우에는 N-컨버터의 게이트 신호로 판단한다.

한편 b상과 c상의 게이트 신호는 a상과 같은 방법으로 발생시키며, 12비트 카운터의 loading 신호로 b상과 c상은 각각 V_{as}' 과 V_{bs}' 의 하강지점에서 발생된 신호를 사용한다.

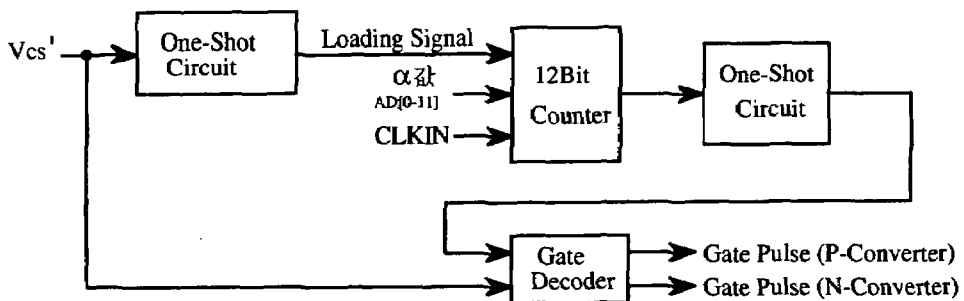


그림 4 a상 게이트 펄스 발생 회로 블록도
 Fig. 4 Block diagram of a-phase gate signal generation circuit

그림 5는 $\alpha = \pi/6$ 일 때, 3상 교류전압의 zero crossing 회로 출력 파형, 3상 게이트 신호, P-컨버터와 N-컨버터의 싸이리스터에 인가되는 게이트 신호를 보인 것이다.

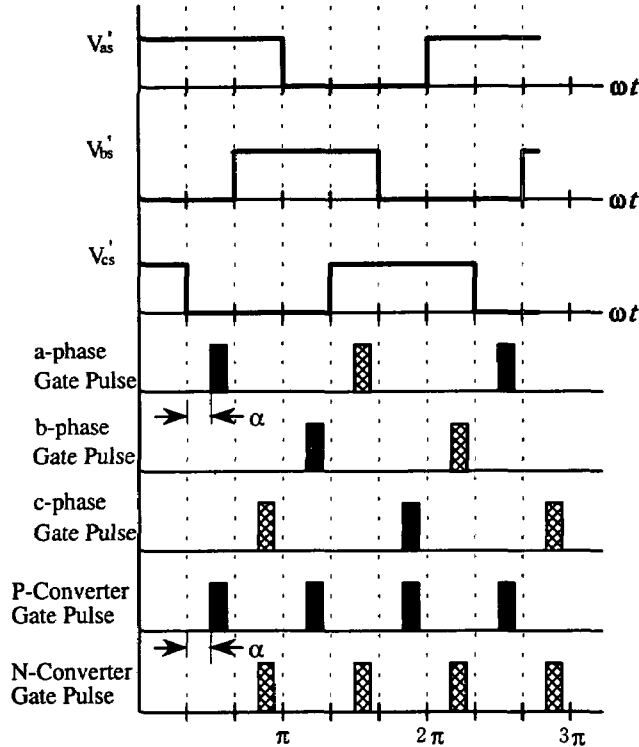


그림 5 $\alpha = \pi/6$ 일 때 P-컨버터와 N-컨버터 게이트신호 파형

Fig 5 Waveforms of gate pulses for P- and N- converters at $\alpha = \pi/6$

P-컨버터와 N-컨버터의 싸이리스터에 인가되는 게이트 신호 파형을 보면 한 주기에 $(2/3)\pi$ 간격으로 3개의 게이트신호가 있으며, 각 컨버터의 3개 싸이리스터에 동시에 같은 게이트 신호가 인가된다. 그런데 3개의 싸이리스터 중 1개의 싸이리스터만 순방향으로 전압이 인가되므로 이 싸이리스터만 도통되고, 나머지 2개의 싸이리스터는 역방향 전압이 걸리므로 도통되지 않는다. 위에서 설명한 게이트 발생회로는 84핀 EPLD로 구현하였다.^[6]

4. 제어회로 블록도

그림 6은 용접기 전압제어를 위한 인터페이스회로 블록도이다. 용접기 전압제어 우프를 수행하기 위하여 16비트 마이크로제어기 80C196KC를 사용한다. 용접전압은 차등증폭기와 저역필터를 거쳐 마이크로 제어기 내의 10비트 A/D컨버터로 입력되며, 용접전류는 hall-CT로 검출하여 저역필터를 거쳐 역시 A/D컨버터로 입력된다. 이 인터페이스 회로에는 마이크로 제어기를 포함한 EEPROM, NVSRAM 등 메모리 장치와 이 제어루우프의 주요 값을 오실로스코프로 관측하기 위한 12비트 D/A컨버터, 디코더와 6개 싸이리스터 게이트 신호를 발생시키는 EPLD등으로 구성된다.

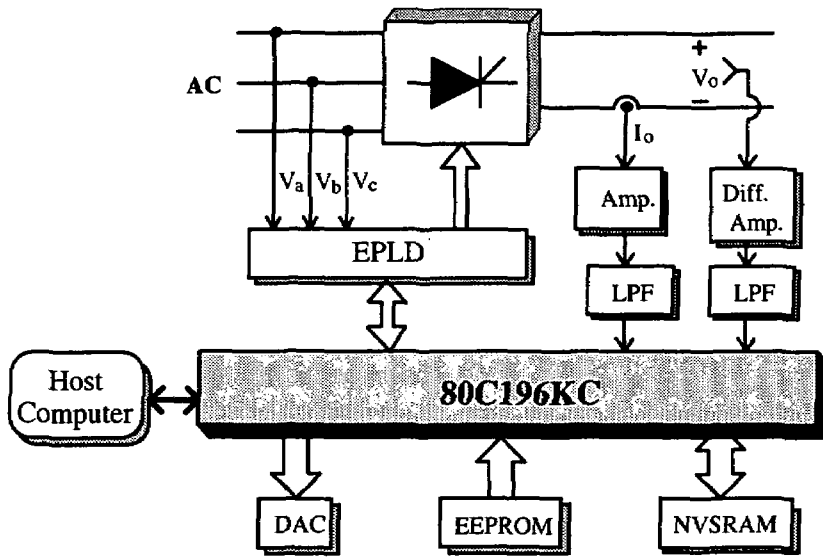


그림 6 인터페이스 회로 블록도
Fig. 6 Block diagram of interface circuit

5. 실험결과

그림 7은 실험을 수행하기 위하여 제작한 용접기 전력회로 및 마이크로제어기 인터페이스 보드 사진이다.

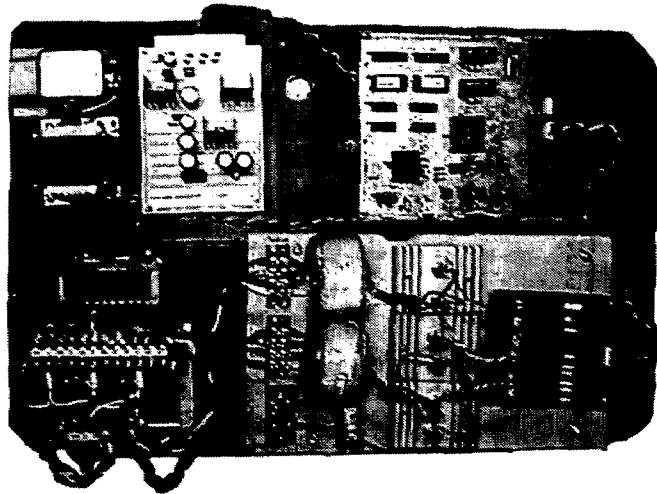
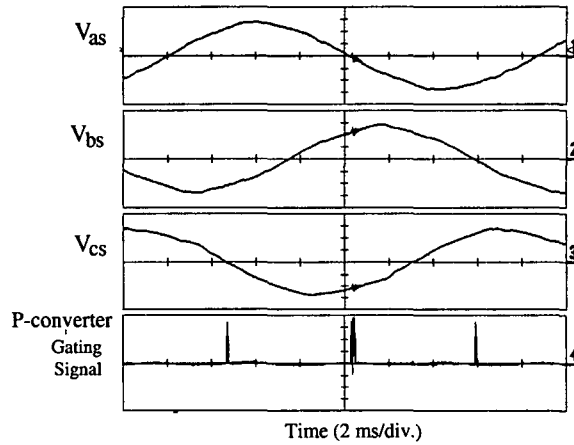
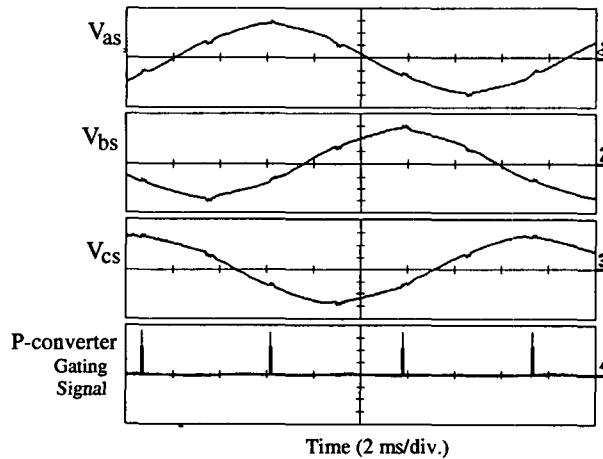


그림 7 실험장치 사진
Fig. 7 Photograph of experimental device

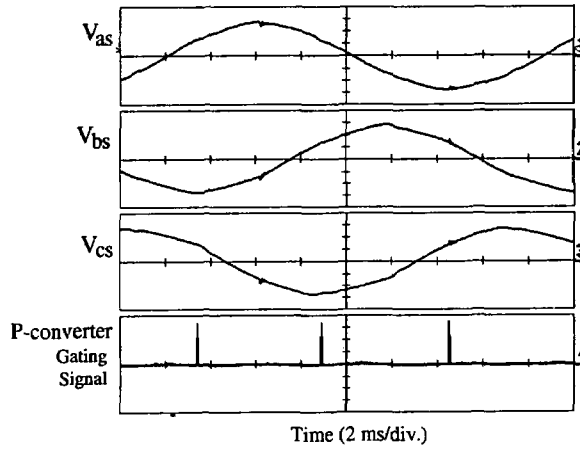
그림 8은 지연각 $\alpha=0^\circ$, $\alpha=30^\circ$, $\alpha=90^\circ$ 일 경우 각각 3상 전압 V_{as} , V_{bs} , V_{cs} 와 P-컨버터 싸이리스터 게이트 펄스 파형을 보인 것이다. 그림(a)에서 보면 $\alpha=0^\circ$ 일 경우 $\omega t=\pi/3$ 에서 게이트신호가 발생되며, 한 주기동안 120° 간격으로 3개의 펄스가 발생된다. 그림(b)와 (c)는 각각 지연각 만큼 지연되어 3개의 게이트 신호가 발생된다.



(a) $\alpha=0^\circ$ 일 경우 실험결과
(a) Experimental result at $\alpha=0^\circ$



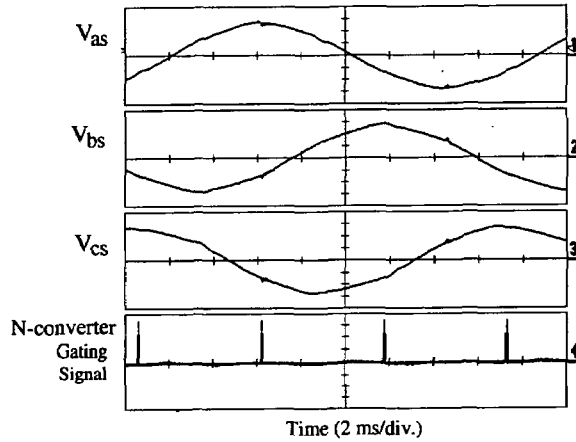
(b) $\alpha=30^\circ$ 일 경우 실험결과
(b) Experimental result at $\alpha=30^\circ$



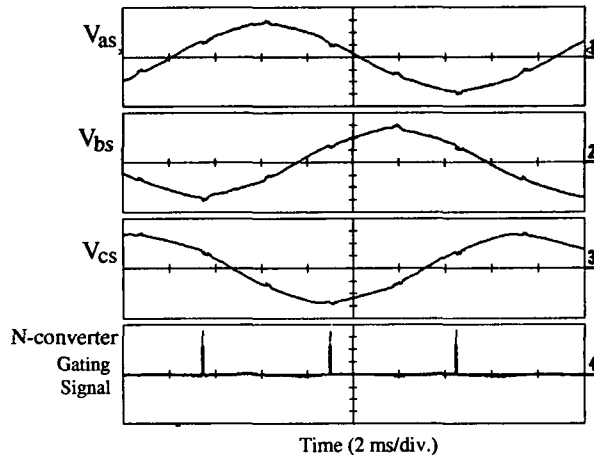
(c) $\alpha = 90^\circ$ 일 경우 실험결과
(c) Experimental result at $\alpha = 90^\circ$

그림 8 지연각 변화에 대한 P-컨버터의 게이트 펄스
Fig. 8 Gate pulses of P-converter with the delay angle variation

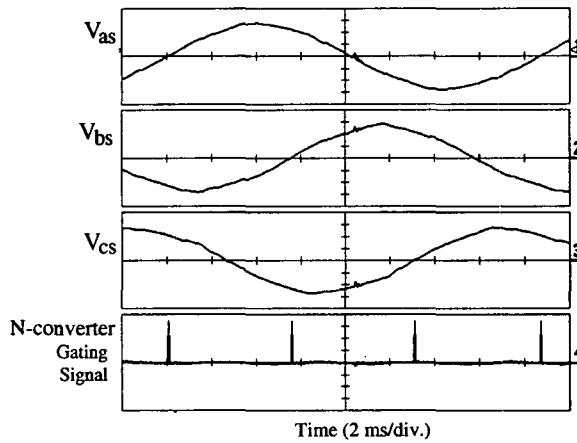
그림 9는 지연각 $\alpha = 0^\circ$, $\alpha = 30^\circ$, $\alpha = 90^\circ$ 일 경우 각각 3상 전압 V_{as} , V_{bs} , V_{cs} 와 N-컨버터 싸이리스터 게이트 펄스 파형을 보인 것이다. 그림 9의 P-컨버터 게이트 신호와 비교하면 같은 지연각에서 N-컨버터의 게이트 신호가 180° 위상차가 있음을 알 수 있다.



(a) $\alpha = 0^\circ$ 일 경우 실험결과
(a) Experimental result at $\alpha = 0^\circ$



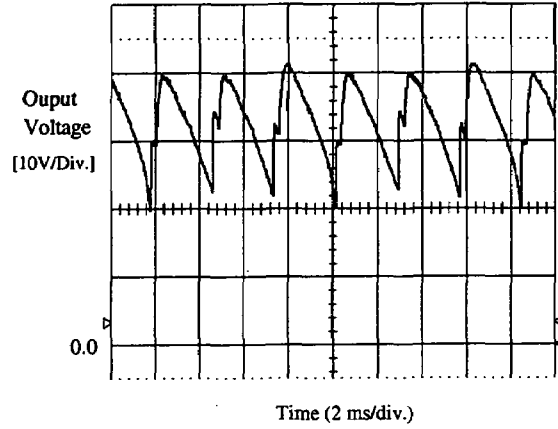
(b) $\alpha = 30^\circ$ 일 경우 실험결과
(b) Experimental result at $\alpha = 0^\circ$



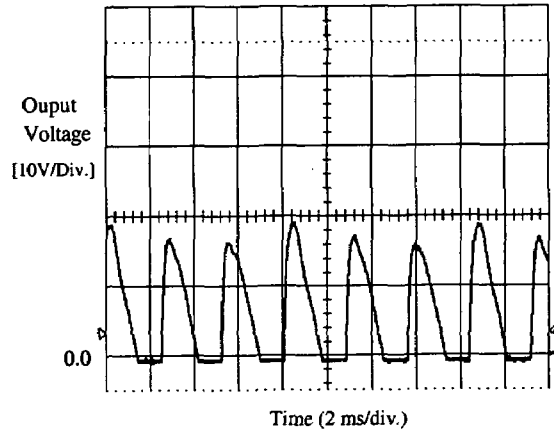
(c) $\alpha = 90^\circ$ 일 경우 실험결과
(c) Experimental result at $\alpha = 90^\circ$

그림 9 지연각 변화에 대한 N-컨버터의 게이트 펄스
Fig. 9 Gate pulses of N-converter with the delay angle variation

그림10은 $\alpha = 30^\circ$, $\alpha = 90^\circ$ 일 경우 각각 컨버터의 출력전압의 파형을 보인 것이다. 위상각이 증가함에 따라 출력전압이 감소됨을 알 수 있으며, 3상 교류전압의 불균형으로 컨버터의 출력전압의 파형이 찌그러진 현상이 발생된다.



(a) $\alpha=30^\circ$ 일 경우 출력전압 파형
 (a) Waveform of output voltage at $\alpha=30^\circ$



(b) $\alpha=90^\circ$ 일 경우 출력전압 파형
 (b) Waveform of output voltage at $\alpha=90^\circ$

그림 10 지연각 변화에 따른 출력 전압 파형
 Fig 10 Waveform of output voltage with the delay angle.

6. 결 론

본 논문은 마이크로제어기와 EPLD를 사용하여 용접기 전압제어 루우프뿐만 아니라 싸이리스터 게이트 발생회로까지 모두 디지털화시키는 방법을 제시하였다. 따라서 기존의 아날로그 게이트 발생회로에 있는 옵셋, 장벽전위 등 여러 오차를 제거할 수 있으면서, 3상

전압비교기와 1개의 EPLD만으로 6개 게이트 발생회로를 구현함으로써 제어회로를 간략화 시켰다. 실험을 통하여 지연각에 대한 2개의 컨버터 싸이리스터 게이트 신호 및 컨버터 출력전압 제어 성능이 우수함을 확인하였다. 앞으로 이 기법을 실제 아크 용접기에 적용할 예정이다.

이 논문은 2000년 울산대학교의
연구비에 의하여 연구되었음

참고문헌

1. Yamada T, "Investigation of arc phenomena by using computer" Quarterly Journal of the JPN. Weld Soc., 1983.
2. W.Lucas, "A Review of Recent Advancement in Arc Welding Power Source and Welding Processes in Japan", Welding Institute, Cambridge, MA., Res. Rep. Nov., 1982.
3. 용접기술세미나, 생산기반 기술 실용화 센터, 1995.
4. A.H.Kuhne and G.Stsrke, "Components for the Automated GMAW Process", Welding Journal, Vol.63, pp.31-34, Jan., 1984.
5. J.A.Johnson, N.M.Carson, H.B.Smartt and D.E.Clark, "Process Control of GMAW : Sensing and Metal Transfer Mode", Welding Journal, Vol.70, No.5, pp.91-95, 1991.
6. Altera, *Data book*, 1996.