

# 디지털 제어 방식의 능동 클램프형 DC-DC 컨버터에 관한 연구

원 기 식, 안 태 영  
 청주대학교 정보통신공학부

## A Study On Active Clamp DC-DC Converter Using Digital Control

Ki-Sik Won, Tae-Young Ahn.

School of Information and Communication Engineering, Cheongju University

### ABSTRACT

This is a experimental result which is reported with using 16-Bit microprocessor H8 series of Renesas company, organizing digital control which is practicable PWM embodiment, and applying switched-mode power supply. The basic topology consists of the active clamp forward DC-DC converter which is widely used for the highly efficient power supply these days. In an experiment, it incites the result to lay emphasis on the highly efficient operation of converter, and performance of digital control which is practicable PWM embodiment. And it is debated on performance of processor and condition for improving performance of part.

### 1. 서 론

마이크로프로세서를 이용한 디지털 제어는 가격은 하락하고 성능은 더욱 높아지고 있는 추세이다. 또한 외형 형태도 소형화된 제품들이 계속 출시되고 있기 때문에 제조 가격에 민감한 전원장치 분야에서도 향후 마이크로프로세서를 적용한 제품이 주목 받을 것으로 판단된다.

마이크로프로세서를 이용한 디지털 제어는 손쉽게 동작 상황이나 고장유무를 판단할 수 있으며, 재 프로그래밍이 가능한 플래시 메모리의 내장에 의해 별도의 하드웨어 변경 없이도 성능개선을 위한 제어기의 변경이 가능하여 제품의 설계 및 변경이 용이하다. 또한 디지털 제어는 원격제어가 가능하여 통신장치를 이용하여 프로그램이나 기타 알고리즘을 통신을 통해 보낼 수 있기 때문에 다양한 산업분야와 산업용기기에 더욱 주목을 받고 활용될 것으로 판단된다.<sup>[1,2]</sup>

본 논문에서는 'Renesas'사의 16-Bit 마이크로프로세서 H8 시리즈를 이용하여 PWM 구현이 가능한 디지털 제어 회로를 구성하고 스위칭 전원장치에 적용하여 그 실험 결

과를 보고한 것이다. 기본 회로방식은 능동 클램프형 포워드 DC-DC 컨버터로 구성하였으며 통신용 전원장치에 적합한 48V 입력과 25W급 출력으로 설계하였다. 실험에서는 마이크로프로세서로 출력전압 검출을 위한 A/D 변환과 PWM 제어기를 구현하였고 두개의 스위치를 구동하기 위한 구동회로를 첨가하였다. 전원장치의 스위칭 주파수는 마이크로프로세서의 성능을 고려해 설정하였으며 변압기와 인덕터 등은 스위칭 주파수를 기준으로 설계하였다.

### 2. 능동 클램프형 포워드 컨버터

그림 1에는 능동 클램프형 포워드 컨버터의 기본회로를 나타낸 것이다. 그림에서  $C_1$ 와  $Q_2$ 는 변압기의 리셋과 스위치 전압을 클램프 시키는 보조 스위칭 회로이다. 그림 1의 기본회로가 일정한 스위칭 주파수  $f_s$ 와 일정한 시비율  $D$ 에서 동작하고, 각 소자가 이상적인 특성을 갖는다고 가정하면, 그림 2와 같은 등가회로를 구성할 수 있다[3-5]. 이때, MOSFET를 이상적인 스위치로 생각하였고, 단 스위치  $Q_1$ 은 내부 다이오드와 기생커패시터  $C_{eq}$ 만 고려하였다. 변압기  $T$ 는 여자전류  $i_M$ , 자기 인덕턴스  $L_M$ 를 고려하였다. 또한 출력 커패시터  $C_F$ 는 충분히 크다고 가정하여 전류원  $I_o$ 로 등가화 하였다.

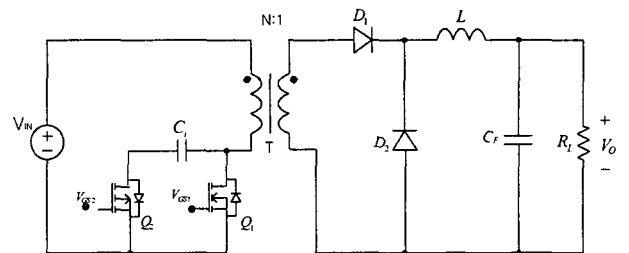


그림 1. 능동 클램프형 포워드 DC-DC 컨버터  
 Fig. 1 Active clamp Forward DC-DC converter

그림 2는 상태별 등가회로를 나타내었다. 그림 2 (a)

의 등가회로에서 주 스위치  $Q_1$ 이 제어 신호에 의해서 도통되면 변압기 1차측 전압은 입력 전압  $V_{IN}$ 과 같아지고, 변압기 권선비  $N$ 에 의해서 2차측 전압이 유기되면서  $D_1$ 에 양의 전압이 인가되므로 ON 상태가 되고,  $D_2$ 는 역바이어스 되므로 따라서 OFF 상태가 된다. 그림 2 (b)의 등가회로에서 보조 스위치  $Q_2$ 가 제어 신호에 의해서 턴 온 되고, 변압기 권선비  $N$ 에 의해서  $D_2$ 는 ON 상태가 되며  $D_1$ 는 OFF 상태가 된다. 그림 3은 각 상태별 이론 동작 파형을 나타내었다.

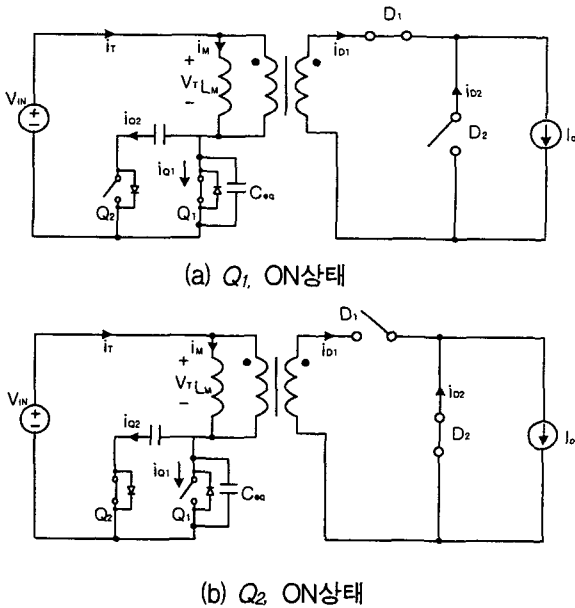


그림 2 상태별 등가회로  
Fig. 2 Equivalent circuit for the switch states

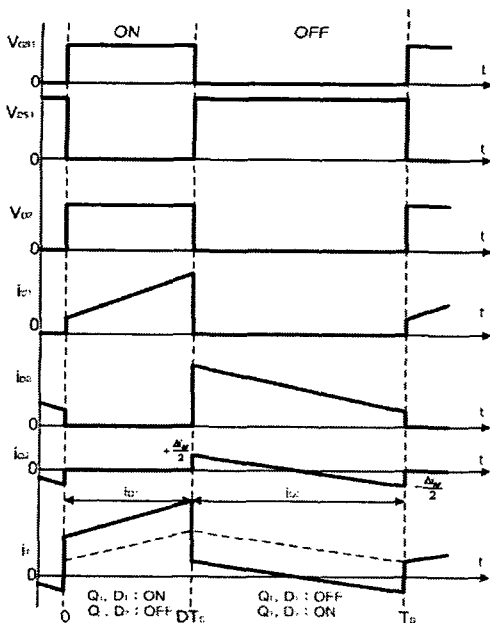


그림 3. 각 상태별 이론 동작파형  
Fig. 3 Theoretical waveform for the switch states

### 3. 마이크로프로세서를 이용한 디지털 제어

그림 4에는 앞 절에서 언급한 능동 클램프형 포워드 DC-DC 컨버터를 제어하기 위한 디지털 제어 시스템의 기본적인 구성방법을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 기본 구성에는 시험용 전원장치와 마이크로프로세서를 구성된 디지털 제어기 그리고 원격제어 및 모니터링을 수행할 PC 부분으로 나누어진다.

디지털 제어를 하기 위하여 가격대 성능비가 우수하고 외형의 크기가 비교적 작기 때문에 산업 응용분야에 널리 사용되고 있는 Renesas사의 H8/3672를 사용하였다. H8/3672 마이크로프로세서의 내부에는 16kbyte 플래시 ROM과 2kbyte의 RAM을 가지며 두 개의 타이머 V(8Bit)와 타이머 W(16 Bit)를 비롯하여 watchdog 타이머, 비동기 또는 동기 시리얼 인터페이스(SCI3), 10Bit A/D 컨버터를 내장하고 있다.

그림 5에는 본 논문에서 사용된 PWM 발생 개념을 나타내었다. 컨버터를 제어하기 위한 제어 입력신호를 마이크로프로세서 내부의 PWM 로직을 이용하여 드라이브 회로에 신호를 보내준다. 출력신호 0이 되고, TCNT (Timer counter)는 일치 비교 A에서 클리어 되고, 출력신호는 일치 비교 B, C, D(TOB, TOC, 그리고 TOD=0 : 초기 출력 값들은 1로 설정된다.)에서 1이 된다. PWM 파형은 FTIOB, FTIOC, 그리고 FTIOD 핀들로부터 출력된다. PWM 모드에서 범용 레지스터는 자동적으로 출력 비교 레지스터 기능을 한다. 각 핀의 출력 레벨은 TCRW (Timer control register W)에서 상응하는 타이머 출력 레벨 설정 비트(TOB, TOC, TOD)에 의존한다.

마이크로프로세서의 PWM 분해능은 최대 16Bit 이지 만 설정된 주기 레지스터의 값에 따라 그 분해능이 낮아 지므로 본 논문에서는 H8/3672 마이크로프로세서의 분해능을 고려하여 20kHz의 스위칭 주파수를 사용하였다.

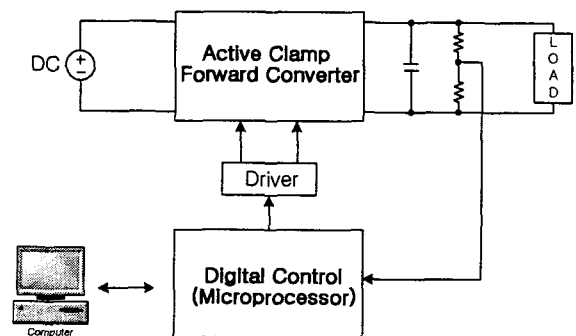


그림 4. 디지털 제어 시스템의 구성  
Fig. 4 Composition of digital control system

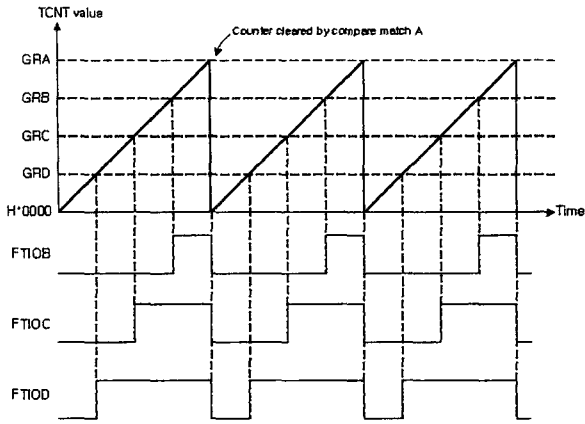


그림 5. PWM 발생 개념  
Fig. 5 PWM generation conception

마이크로프로세서와 연결된 PC는 프로그램을 다운할 수 있으며 프로그램 수행하는 중에 변수, 레지스터, 메모리의 값을 실시간으로 모니터링 할 수 있다. 또한 모니터링 상에서 간단하게 변수 값을 변경함으로써 특정한 하드웨어의 변경 없이 제어가 가능하도록 하였다. 출력전압을 안정화시키기 위해서 출력전압을 검출하는 A/D 컨버터를 입력으로 하는 PWM 제어를 구성하였다. 그림 4와 같이 출력전압  $V_o$ 가 마이크로프로세서의 A/D 컨버터의 입력이 되고 A/D 컨버터는 아날로그 양을 샘플링하고 취득한 디지털 계수 값을 처리하여 파워드 컨버터의 제어입력신호인 시비율을 변화시키면서 제어한다.

#### 4. 실험 결과

표 1에는 본 논문에서 실험회로로 사용된 능동 클램프형 파워드 컨버터의 설계 사양을 나타내었다. 본 논문에서 사용된 실험회로의 입력 전압은 48V, 출력은 5V, 5A로 설계하였으며 스위칭 주파수는 20kHz로 설계하였다. 그림 6은 실험 회로와 디지털제어기의 기본 구성방법을 나타낸 것이다. 그림에서 마이크로프로세서에서 얻어진 PWM 출력은 두개의 스위치를 일정한 데드타임 설정과 효과적인 MOSFET의 구동을 위해서 별도의 구동회로를 추가하였다.

표 1. 실험 회로의 사양

Table 1 Specifications of experimental converter

Parameters	Name	Value	Unit
Input voltage range	$V_{IN}$	48	V
Output voltage	$V_o$	5	V
Output current	$I_o$	5	A
Maximum output power	$P_o$	25	W
Switching frequency	$f_s$	20	kHz

그림 7은 실험회로가 정상상태에서 동작하는 경우 주요 소자에 걸리는 전압의 파형을 출력전류의 상태에 따라 나타낸 것이다. 그림 7 (a)는 출력전류가 0.2A로 실험회로가 약 1W의 출력을 내고 있을 때의 파형이며 위로부터 스위치의 게이트-소스, 두개의 스위치의 드레인-소스파형을 나타낸 것이다. (b)는 출력전류가 5A로 약 25W의 출력을 내고 있을 때이며 그림으로부터 시비율이 변화하였음을 알 수 있다. 또한 그림 8에서는 실험회로의 출력이 25W일 때, 주스위치의 전압과 변압기에 흐르는 전류파형을 나타낸 것이다. 그림 7, 8로부터 실험회로가 디지털제어에 의해 적절한 시비율로 제어되고 있으며 각 부분이 정상동작하고 있음을 알 수 있었다.

그림 9에서는 실험회로의 부하특성을 관찰하기 위해서 부하전류에 따른 출력전압을 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 출력전압은 부하변화에 대해 비교적 일정한 값을 유지하고 있으며 본 논문에서 적용한 디지털제어기로 구성된 제어회로와 능동 클램프형 파워드 컨버터가 안정된 제어를 하고 있다는 것을 알 수 있었다.

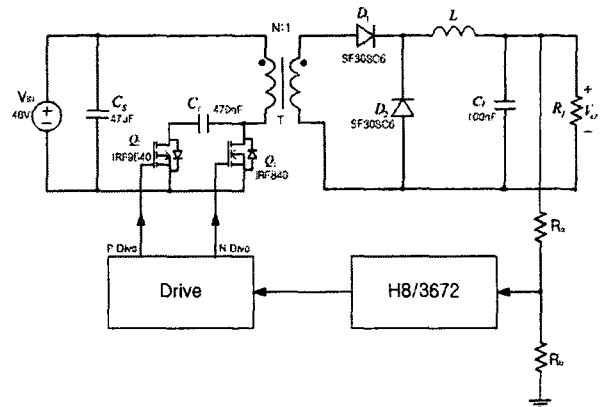
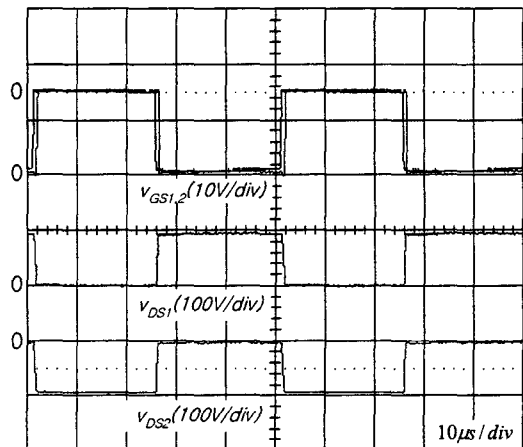


그림 6. 디지털 제어를 이용한 실험 회로도  
Fig. 6 Experimental schematic of active clamp forward DC-DC converter using digital control



(a)  $I_o = 0.2A$

## 5. 결 론

본 논문에서는 'Renesas'사의 16-Bit 마이크로프로세서 H8 시리즈를 이용하여 PWM 구현이 가능한 디지털 제어 회로를 구성하고 스위칭 전원장치에 적용하여 그 실험 결과를 보고한 것이다. 기본 회로방식은 최근에 고효율 전원장치로 넓게 사용되고 있는 능동 클램프형 포워드 DC-DC 컨버터로 구성하였다.

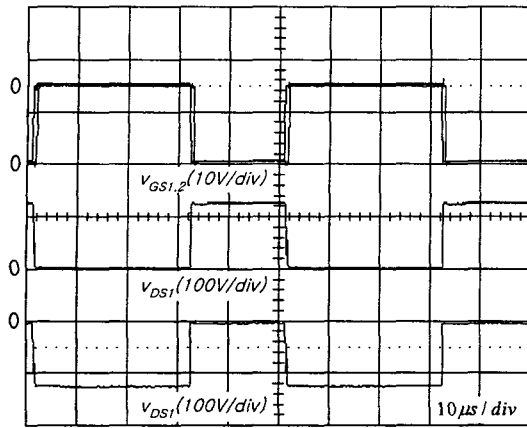
실험에서는 마이크로프로세서로 출력전압 검출을 위한 A/D 변환과 PWM 제어를 구현하였고 두개의 스위치를 구동하기 위한 구동회로를 첨가하였다. 특히 구동회로에서는 두개의 스위칭 사이에 적절한 데드타임을 조절할 수 있도록 하였다. 전원장치의 스위칭 주파수는 마이크로프로세서의 성능을 고려해 20kHz로 설정하였으며 변압기와 인덕터 등은 스위칭 주파수를 기준으로 설계하였다.

마이크로프로세서로 구현한 PWM 제어를 이용하여 25W급 능동 클램프형 포워드 DC-DC 컨버터에 적용한 결과 안정된 부하특성을 얻을 수 있었으며 각 소자는 기본적인 기능을 원활히 수행하고 있다는 것을 알 수 있었다. 향후 본 연구를 개선시켜서 고속의 마이크로프로세서를 적용하여 고주파 스위칭이 가능한 전원장치를 제작할 예정이다.

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 청주대학교 정보통신연구센터의 지원에 의한 것입니다.

## 참 고 문 헌

- [1] Y. Duan and H. Jin, "Digital controller design for switchmode power converters", in Proc. IEEE Appl. Power Electron. Conf.(APEC), vol.2, 1999, pp. 967-973
- [2] L.Rossetto, "Control Techniques for power factor Correction Converters", University of Padova.
- [3] Yuri Panov and Milan M. Jovanovic', "Design and Performance Evaluation of Low-Voltage / High Current DC-DC On Board Modules" IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 16, No. 1, January 2001.
- [4] Haruo Watanabe, Hirofumi Maᄡsuo, Haruhiko Hatakeyama, "Design Oriented Analysis of a Novel Soft-Switching DC-DC Converter with 2V/20A DC Output" IEEE PESC 01. pp. 884-889, 2001.
- [5] Laszlo Huber, Milan M. Jovanovic', "Forward - Flyback Converter with Current Doubler Rectifier: Analysis, Design, and Evaluation Results," IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 14, No. 1, pp. 184-192 January 1999.



(b)  $I_o = 5A$

그림 7. 정상상태에서의 스위칭 파형

Fig. 7 Switching waveform in steady state

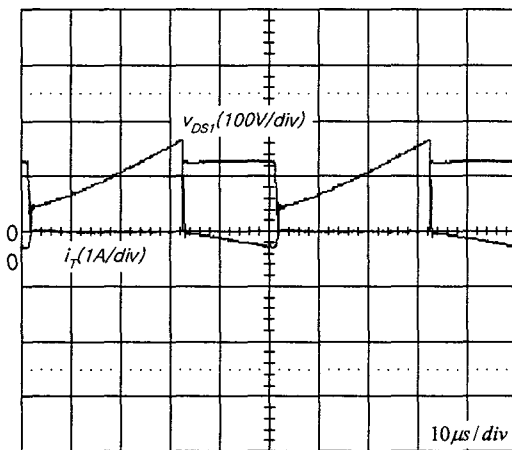


그림 8. 스위치의 전압과 변압기의 전류 파형

Fig. 8 waveforms of switch and transformer

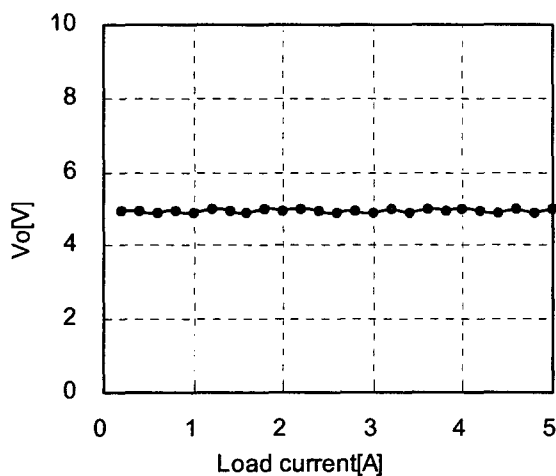


그림 9. 부하전류에 따른 출력전압

Fig. 9 Output voltage for load current