

DSP를 이용한 강압형 DC-DC 컨버터의 원격제어

김윤서*, 양 오

청주대학교 전자공학과

전화 : 043-229-8440 / 핸드폰 : 016-798-4294

A Remote Control of a Buck-typed DC-DC Converter using DSP

Youn Seo Kim*, Oh Yang

Dept. of Electronic Engineering, Chong ju University

E-mail : anymail99@hanmail.net

Abstract

Because the digital control includes microprocessor different from an analog control, the digital control enables to monitor internal parameters of DC-DC converter and to control output voltage remotely by communicating with a Window based PC and also to monitor whether exact voltage is output or not. These things are impossible in an analog control. In this paper, a simple buck converter controlled by DSP is implemented. This converter outputs 0V to 5V from 15V input voltage and is controlled by a PD algorithm using DSP(TMS320C31). Finally the response characteristics of a step reference voltage and a digital controlled converter are analyzed to verify the usefulness of this converter.

I. 서론

전자기기의 전반에 걸쳐 폭넓게 사용되고 있는 DC-DC 컨버터는 고효율, 안정성 개선 및 소형화를 위한 지속적인 연구개발을 통하여 많은 성과를 거두고 있으나 소자 개선, 회로 구조변경, 또는 제어특성 개선 등의 아날로그적인 제어 방식에 대한 연구개발이 대부

분을 차지하고 있다[1][2]. 그러나 최근에 산업 분야의 전반에 걸쳐 나타나고 있는 디지털화에 따라 DC-DC 컨버터의 디지털 제어에 관한 연구도 서서히 이어지고 있으며 상용화를 위한 연구발표도 이어지고 있다[2].

기존의 아날로그 제어방식에 비하여 디지털 제어방식은 기본적으로 마이크로프로세서를 포함하고 있기 때문에 DC-DC 컨버터 내부의 파라미터에 대한 모니터링이 가능하며, 원격 제어 및 원격 감시가 가능하다. 또한 하드웨어 변경 없이 프로그램의 수정만으로 시스템의 동작 조건을 변경하거나 원하는 임의의 전압을 만들어 낼 수 있다는 장점이 있다.

이러한 장점에도 불구하고 스위칭 주파수의 한계 및 제어회로의 높은 가격 때문에 아직까지는 디지털 제어방식이 널리 실용화되지 못하고 있지만 본 논문에서는 탁월한 연산 속도 및 제어 성능으로 비교적 높은 스위칭 주파수의 디지털 제어가 가능한 DSP를 이용하여 DC-DC 컨버터의 원격제어에 적용하였으며, 디지털 제어기의 실용성을 검토하였다.

본 논문에서 사용한 강압형 컨버터의 사양은 입력 전압 15[V]로부터 출력 전압 0V, 1.8V, 3.3V, 5[V]의 출력을 내며, 출력전류는 1[A], 스위칭 주파수는 20KHz로 하였다. 또한 40MHz로 구동되는 TI사의 TMS320C31의 DSP를 사용하였으며, 인터럽트 발생과 PWM 발생을 위한 ASIC을 함께 사용하였다.

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 청주대학교 정보통신연구센터(RRC)의 지원에 의한 것입니다.

II. 디지털 제어 Buck 컨버터

2.1 디지털 제어 Buck 컨버터의 구조

본 논문에서 사용한 컨버터는 그림 1과 같이 가장 기본적인 Buck 컨버터로 구성하였으며, 크게 buck 컨버터, 20KHz의 PWM과 인터럽트를 발생시키는 ASIC, AD 변환한 값으로부터 PWM의 Duty를 조정하는 DSP, 그리고 모니터링과 원격제어를 하기 위한 PC로 구분된다.

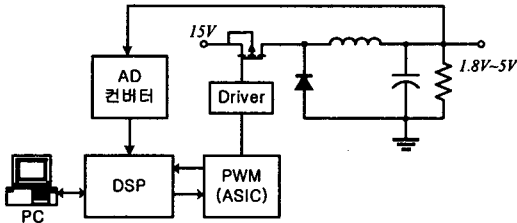


그림 1. Buck 컨버터의 구성

ASIC에서는 다양한 주파수의 PWM 발생이 가능하고 스위칭 주파수에 따른 인터럽트를 발생한다. 본 논문에서는 20KHz의 PWM을 사용하였으며, 50us마다 인터럽트가 발생되며 이것이 DSP의 외부 인터럽트에 연결되어 있다. DSP에서는 50us마다의 외부 인터럽트에 의해 컨버터의 출력 전압을 샘플링하고, 이 값과 기준 전압 값의 오차로부터 PWM의 레퍼런스 값을 갱신하여 Duty를 제어한다.

DSP는 TI사의 TMS320C31을 사용하였고, AD 컨버터는 12bit의 분해능을 가지고 있는 AD7891을 사용하여 시스템을 구현하였다.

2.2 PWM 파형 생성

PWM 파형은 전용의 ASIC을 통해서 발생이 된다. 전용의 ASIC 내부에서는 설정된 주파수 주기의 삼각파가 만들어지며 삼각파가 최대값을 가질 때마다 인터럽트를 발생하도록 되어 있다. PWM은 삼각파의 값과 PWM 레퍼런스 값을 비교하여 PWM의 Duty를 조절하게 된다.

출력전압의 제어를 위해 50us 간격으로 출력전압을 샘플링해서 기준 전압과의 오차를 구한다. 여기에서 표현되는 값들은 모두 디지털 값들이며 식(1)과 같다.

$$V_{err} = V_{REF} - V_{AD\ Sample} \quad (1)$$

2.3 PWM 제어

정확한 출력 전압을 얻기 위해서는 정확한 PWM의

제어가 이루어져야 한다. PWM의 제어는 식 (1)로부터 얻어진 전압 오차의 양만큼 PWM 레퍼런스에 가감되어 PWM의 Duty값을 보상하게 된다. 이를 식으로 나타내면 식 (2)와 같다.

$$PWM_{ref(k)} = PWM_{ref(k-1)} + \Delta PWM_{ref(k)} \quad (2)$$

이 식을 Duty에 대한 식으로 표현하면 식(3)과 같다.

$$D(k) = D(k-1) + \Delta D(k) \quad (3)$$

그러나 식(1)에 의해서 얻어진 전압 오차만으로 Duty를 보상하게 되면 응답 속도가 매우 늦으므로 급격한 부하변동으로 인한 출력전압의 변동시 빠른 응답 특성을 갖도록 기존의 PI제어기와는 달리 PD제어기로 구성하였다. 전압 오차에 대한 PD 제어 값은 PWM의 레퍼런스로 사용되어야 하기 때문에 PWM의 범위(0~100%)를 벗어날 수 없다. 그래서 Duty의 범위를 벗어날 경우 Duty의 최소, 최대값으로 범위를 제한시켜 이 값을 PWM의 레퍼런스 값으로 사용하였다. 그림 2에 PD제어기의 구조를 나타내었다.

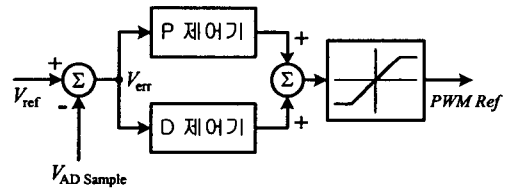


그림 2. PD 제어기의 구조

따라서 출력 전압은 PD 제어기에 의해 기준 전압을 더 빨리 따라가도록 PWM의 레퍼런스를 조정하게 된다.

III. 실험 결과 및 검토

3.1 Buck 컨버터의 사양

본 논문에서 사용된 Buck 컨버터는 15V 입력전압으로부터 5V, 1A의 출력을 내도록 설정하였으며, 20KHz의 스위칭 주파수를 사용하였다. 50us마다 출력 전압을 샘플링하여 PD 제어기에 의해 PWM의 Duty를 갱신하며, PD 제어기의 파라미터는 시행 착오에 의한 방법으로 결정되었으며 표 1에 나타내었다.

실험은 1[A]의 부하를 사용하여 과도 응답 특성과 정상상태에서의 출력전압의 리플을 측정하였다.

표 6. Buck 컨버터의 사양

입력 전압	15[V]
출력 전압	5[V]
출력 전류	1[A]
스위칭 주파수	20[KHz]
P 게인	2
D 게인	0.0025
샘플링 시간	50us

3.2 정상 상태의 응답 특성

지금까지의 PD제어기에 의한 Buck 컨버터의 출력 특성을 살펴보면 다음과 같다. 그림 3과 그림 4에서는 무부하시와 1[A]의 부하를 인가했을 때의 출력 전압과 스위칭 파형을 나타내며, 시간은 20us/div이다.

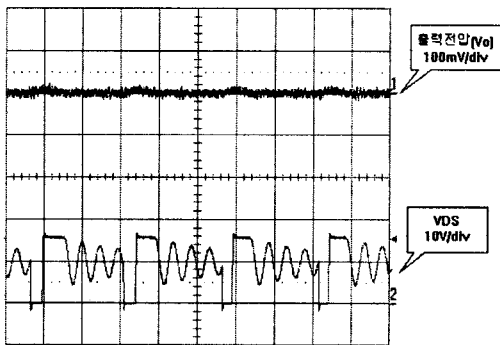


그림 3. 무부하시의 출력전압과 스위칭 파형

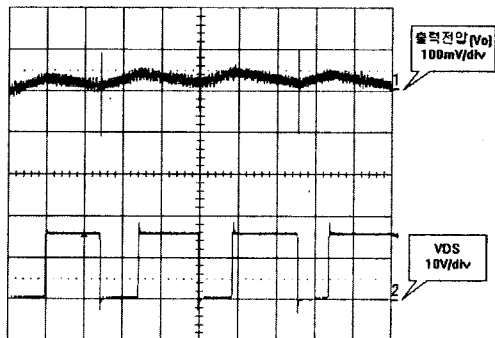


그림 4. 1[A] 부하시의 출력전압과 스위칭 파형

그림 5와 그림 6은 무부하와 부하시의 출력전압 리플을 보여 주는 것으로 무부하시의 리플전압은 약 54mV 정도로 나타나며, 1[A] 부하에서의 리플전압은 약 120mV 정도 나타나고 있으며, 시간은 1s/div이다.

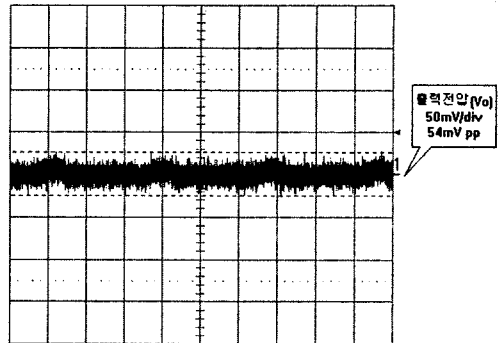


그림 5. 무부하에서의 정상 상태 리플

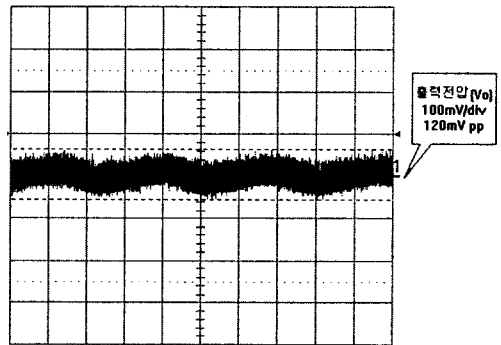


그림 6. 1[A] 부하시의 정상 상태 리플

3.3 과도 상태의 응답 특성

그림 7과 그림 8에서는 1[A] 부하 인가시와 무부하시의 출력에 대한 과도특성을 나타낸 것이다.

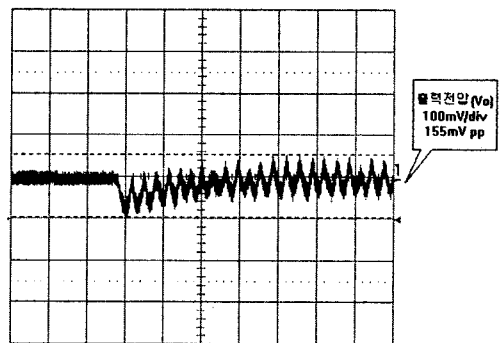


그림 7. 1[A] 부하 인가시의 응답특성

부하를 인가할 때와 해제할 때를 살펴보면 오버슈트나 언더슈트는 보이지 않고 리플의 크기만 증가하는

형태를 보이며, 그림 9는 부하전류에 따른 출력전압의 변동을 나타낸 그림이다.

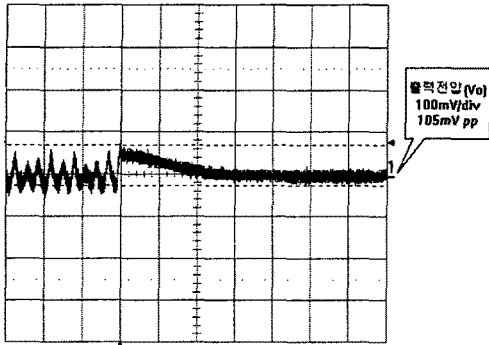


그림 8. 1[A] 부하에서 무부하시 응답특성

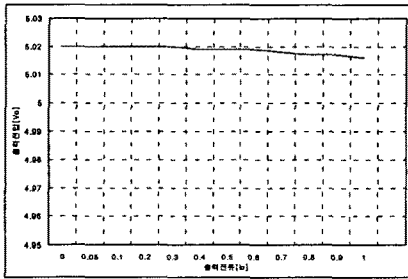


그림 9. 부하전류에 따른 출력 전압 변동

3.4 원격제어 및 모니터링

디지털 제어기의 가장 큰 장점중의 하나가 출력전압을 가변할 수 있고 모니터 할 수 있다는 것이다. 그림 10은 컨버터의 여러 파라미터들에 대한 값의 모니터링과 출력 전압의 원격제어를 하는 그림이며, 그림 11은 출력전압을 0V, 1.8V, 3.3V, 5V로 가변 했을 때의 출력 파형이다.

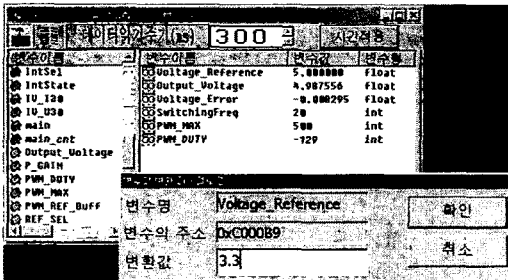


그림 10. 컨버터 내부 파라미터 모니터링과 원격제어를 위한 출력 전압값 변경

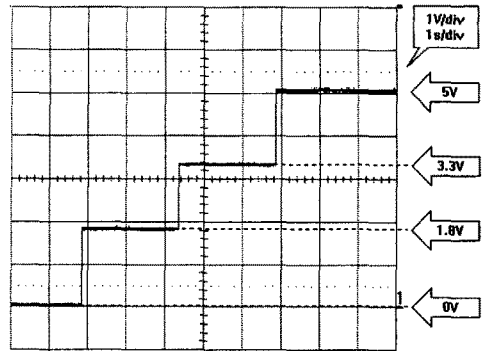


그림 11. 부하상대에서 출력전압의 가변

IV. 결론

지금까지 아날로그 제어방식에 비하여 구조가 간단한 디지털 제어기를 구성하여 Buck 컨버터에 적용하였으며, 실험을 통하여 이 컨버터의 출력 특성을 확인하였다. 위의 결과에서 알 수 있듯이 디지털 제어기에 의한 우수한 출력 특성을 볼 수 있었다. 또한 디지털 제어방식의 컨버터는 PC상에서 출력전압을 원하는 값으로 가변할 수 있고, 출력 전압을 모니터 할 수 있다는 것이 가장 큰 장점이라 할 수 있다.

디지털 제어 방식은 아날로그 제어 방식보다 저렴하게 구현될 수 있는 장점이 있지만 DSP를 사용해서는 저가격화를 이루기 어렵다. 따라서 더 저렴하고 구조가 간단한 CPU의 사용과 함께 더 안정적인 제어를 위해 알고리즘을 보완하여 더 값싸고 안정적인 디지털 제어기를 구현함으로써 저 가격화와 실용화를 이루는 것이 앞으로의 과제로 남아 있다.

참고문헌

- [1] 김희준, "스위칭 모드 파워 서플라이", 성안당, 1996.
- [2] 박효식, 김희준, "디지털 제어기에 의한 강압형 및 승압형 DC-DC 컨버터의 동시제어", KIEE, Vol 5B, No 3, pp. 141-146. 2001.
- [3] Tarun Gupta, R. R. Boudreaux, R. M. Nelms, and John Y. Hung, "Implementation of a Fuzzy Controller for DC-DC Converters Using an Inexpensive 8-b Microcontroller", IEEE Trans on Industrial Electronics, Vol. 44, No. 5, October 1997.
- [4] 김희준, "스위칭 전원의 기본 설계", 성안당, 2002.