

디지털 제어기에 의한 강압형 및 승압형 DC-DC 컨버터의 동시제어

論 文
50B-3-6

A Study on the Simultaneous Control of Buck and Boost DC-DC Converter by Digital Controller

朴孝植* · 金熙峻**
(Hyo-Sik Park · Hee-Jun Kim)

Abstract - This paper presents a one digital controller two topology PWM DC-DC converter that controls, simultaneously, the separate Buck converter and Boost converter with the different specification by using an inexpensive and efficient 8 bit micro-controller. One timer interrupt is used for the detection of output feedback voltage, and other two timer interrupts are used for the generation of PWM waveform for Buck and Boost converter. The control characteristics of one digital controller two topology PWM DC-DC converter is validated by experimental results.

Key Words : 8 bit microcontroller, Buck and Boost Converter, Simultaneous Control

1. 서 론

전자기기 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 제어방식에 대한 연구개발이 대부분을 차지하고 있다[1]~[3].

그러나 최근에 산업분야의 전반에 걸쳐 나타나고 있는 디지털화에 따라 DC-DC 컨버터의 디지털 제어에 관한 연구도 서서히 이루어지고 있으며, 상용화를 위한 연구발표도 이어지고 있다. 기존의 아날로그 제어방식에 비하여 디지털 제어방식은 마이크로 컨트롤러를 이용하기 때문에 DC-DC 컨버터 내부 파라미터의 모니터링이 가능하며, 원격 감시 및 제어가 가능하고, 필요시 하드웨어 변경 없이 프로그램의 수정만으로 시스템의 동작조건을 변경할 수 있다는 장점이 있다.

그러나 이러한 장점에도 불구하고 스위칭 주파수의 한계 및 제어회로의 높은 가격 때문에 디지털 제어방식이 널리 실용화되지 못하고 있다. 특히 디지털 제어에서 많이 사용되고 있는 DSP는 탁월한 연산 및 제어성능에 의해 비교적 높은 스위칭 주파수의 디지털 제어 DC-DC 컨버터에도 적용이 가능하지만 높은 가격으로 인하여 상용화되지 못하고 있어 저렴한 디지털 제어회로의 필요성이 크게 대두되고 있다[4]~[6].

본 논문에서는 기존에 제안된 디지털 제어회로에 비하여 저렴한 간단한 제어회로를 구성하여 사양이 다른 별도의

강압형 컨버터 및 승압형 컨버터를 동시에 제어하는 새로운 전원시스템 구조를 제안하고, 각 컨버터 제어용 PWM 파형을 생성시키는 알고리즘을 제시하며, 실험 결과를 통하여 비록 8 비트 마이크로 컨트롤러를 사용함에 따라 발생하는 프로그램 처리속도 문제에 의해 스위칭 주파수를 높이는 데 제약이 따르지만 강압형 및 승압형 컨버터가 무리 없이 제어됨을 보임으로써 본 논문에서 제안한 새로운 개념의 컨버터 디지털 제어기의 타당성을 입증한다.

실험에 적용된 강압형 컨버터의 사양은 스위칭 주파수 20kHz, 출력전압 5V, 출력전류 1A이고, 승압형 컨버터는 스위칭 주파수 10kHz, 출력전압 24V, 출력전류 1A의 컨버터이며, 사용된 마이크로 프로세서는 AT89C52로서 8K 바이트의 Flash 메모리를 탑재한 8비트 마이크로 컨트롤러이다. 또한 프로그램 처리속도를 빠르게 하기 위하여 어셈블리 언어로 프로그램을 코딩하였으며, 타이머 인터럽트를 이용하여 일정 간격으로 PWM 파형을 생성시키도록 하여 정확한 PWM 제어가 이루어지도록 한다[7].

2. 디지털 제어기에 의한 강압형 및 승압형 컨버터의 동시제어

그림 1은 하나의 디지털 제어기를 이용하여 컨버터 두 대를 동시에 제어하는 시스템에 관한 블록도이다. 그림에서와 같이 별개의 A/D 컨버터를 통하여 강압형 및 승압형 DC-DC 컨버터의 출력전압을 각각 검출하고, CPU에서 그 값을 읽어서 기준전압과의 오차를 구하고, 일정간격으로 등분하여 작성한 데이터 표의 값 V_{n1} 또는 V_{n2} 와 비교하여 변동된 출력전압에 대한 PWM 파형의 시비를 보상값을 결정한 후, 그 결과를 출력포트를 거쳐 각 컨버터의 구동회로로 전달하여 스위치를 제어한다. A/D 컨버터를 이용하여 검출된 DC-DC 컨버터의 출력전압값은 타이머 인터럽트 2에

* 正 會 員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 博士課程 修了

** 正 會 員 : 漢陽大 電子·컴퓨터工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2000年 12月 14日

最終完了 : 2001年 3月 5日

의하여 100μsec간격으로 샘플링되어 제어기에 입력되고, 타이머 인터럽트 0과 1을 통하여 시비율이 조정된 PWM 파형이 출력됨으로써 각각의 DC-DC 컨버터를 제어하게 된다.

여기에서 사용된 CPU는 8비트 마이크로 컨트롤러 AT89C52로서 내부에 8K 바이트의 Flash 메모리를 탑재하고 있어 외부에 별도의 메모리를 사용하지 않고 컨트롤러 자체에 프로그램을 저장함으로써 시스템의 구조를 매우 간단히 구성할 수 있으며, 가격이 저렴하고 성능이 우수한 특징을 가지고 있다. 또한 A/D 컨버터는 데이터 변환시간이 35μsec 이고 12비트의 분해능을 가진 AD574A를 적용하여 시스템을 구현한다.

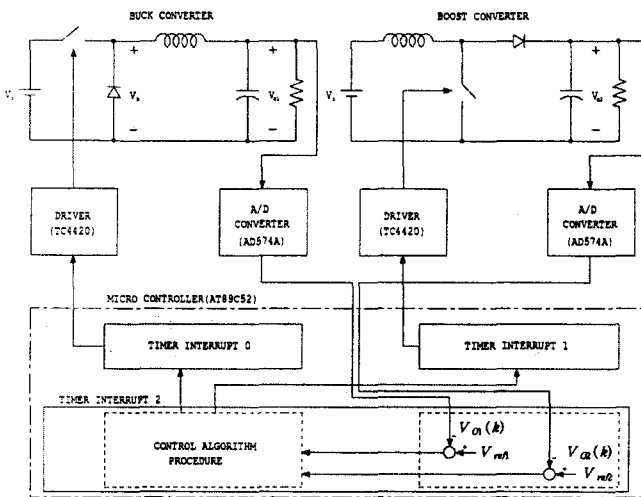


그림 1 시스템 블록도
Fig. 1 System block diagram

3. PWM 파형 생성 알고리즘

하나의 CPU를 사용하여 구조가 다른 별개의 PWM DC-DC 컨버터를 제어하고자 할 때 가장 문제가 되는 것 중의 하나는 두 개의 PWM 파형을 각각 독립적으로 제어하면서 각 파형의 스위칭 주파수를 일정하게 하는 것이다. 이러한 조건을 만족시키기 위하여 본 논문에서는 2개의 타이머 인터럽트를 사용하여 2개의 PWM 파형이 각각의 일정한 스위칭 주파수를 가지고 독립적으로 제어되도록 한다.

또 다른 문제는 본 논문에서 사용한 8비트 마이크로 컨트롤러의 경우 소수점 연산이 불가능하다는 점이다. 이를 해결하기 위하여 각 출력전압에 대한 보상값을 제어알고리즘에 의하여 미리 연산한 후 이를 테이블화하여 출력한다.

3.1 강압형 컨버터의 PWM 파형 생성 알고리즘

CPU의 클럭 주파수를 고려하여 스위칭 주파수 F_{SI} 를 결정하고 식 (1)과 같이 입력전압 V_I 에 대한 출력전압 V_{O1} 을 고려하여 초기 시비율 $D_1(0)$ 을 정한 후 식 (2)로부터 이

에 해당하는 스위치 초기 On 시간 $T_{OM}(0)$ 값과 초기 Off 시간 $T_{OFF1}(0)$ 값을 결정한다.

$$D_1(0) = \frac{V_{O1}}{V_I} \tag{1}$$

$$T_{SI} = \frac{1}{F_{SI}} = T_{OM}(0) + T_{OFF1}(0) \tag{2}$$

여기서 첨자 1은 강압형 컨버터의 변수임을 나타내기 위한 표시이다.

$T_{OM}(0)$ 및 $T_{OFF1}(0)$ 값이 결정되면 타이머 인터럽트 0의 타이머값(내부의 TH0, TL0 레지스터)에 $T_{OM}(0)$ 및 $T_{OFF1}(0)$ 값을 번갈아 대입하면서 타이머 인터럽트를 발생시킴으로써 강압형 DC-DC 컨버터를 제어하기 위한 초기 상태 PWM 파형을 생성시킨다.

출력전압의 제어를 위하여 타이머 인터럽트 2를 사용하여 100μsec 간격으로 출력전압을 샘플링하고 식 (3)과 같이 기준전압에 대한 전압변동분 $\Delta V_{O1}(k)$ 를 구한다.

$$\Delta V_{O1}(k) = V_{ref1} - V_{O1}(k) \tag{3}$$

$\Delta V_{O1}(k)$: 출력전압의 변동분

$V_{O1}(k)$: 샘플링한 출력전압

V_{ref1} : 기준전압

위의 식 (3)을 어셈블리 언어를 이용하여 프로그램적으로 구현하기 위하여 일정 간격으로 데이터화 한 출력전압 V_{O1} 을 데이터 표에 저장시킨 후 샘플링한 출력전압 $V_{O1}(k)$ 와 비교하여 $V_{O1} > V_{ref1}$ 의 조건을 만족하는 동안 반복해서 프로그램 루우프를 수행하도록 하여, $V_{O1} > V_{ref1}$ 의 조건이 만족될 때까지의 루우프 수행 횟수를 식(4) 및 (5)와 같이 $T_{OM}(k-1)$ 및 $T_{OFF1}(k-1)$ 값에 가감하여 시비율을 조정한다.

$$T_{OM}(k) = T_{OM}(k-1) + \Delta T_{OM}(k) \tag{4}$$

$T_{OM}(k)$: 현재 타이머값

$T_{OM}(k-1)$: 전 상태 타이머값

$\Delta T_{OM}(k)$: 타이머 보상값

위의 식을 시비율의 식으로 표현하면

$$D_1(k) = D_1(k-1) + \Delta D_1(k) \tag{5}$$

$D_1(k)$: 현재 시비율

$D_1(k-1)$: 전 상태 시비율

$\Delta D_1(k)$: 현재 시비율 보상값

과 같이 나타낼 수 있으며, 그림 2는 타이머 인터럽트를 이용하여 생성되는 PWM 파형을 나타내고 있다.

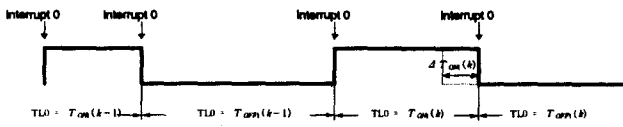


그림 2 타이머 인터럽트를 이용한 PWM 파형
Fig. 2 PWM waveform using timer interrupt

문에 동일하게 적용될 수 있다.

$$D_2(0) = 1 - \frac{V_L}{V_{\alpha}} \quad (6)$$

스위치의 ON 및 OFF 시간의 보상식도 강압형의 경우와 같이 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$T_{ON2}(k) = T_{ON2}(k-1) + \Delta T_{ON2}(k) \quad (7)$$

3.2 승압형 컨버터의 PWM 파형 생성 알고리즘

승압형 컨버터의 PWM 생성 알고리즘은 식 (6)로 표현되는 초기 시비율 $D_2(0)$ 를 제외하면 강압형의 경우와 같기 때

4. 실험 결과

그림 3은 하나의 디지털 제어기를 이용하여 강압형 및 승압형 컨버터를 동시에 제어하는 DC-DC 컨버터 시스템의 전체회로도이며, 컨버터의 사양은 표 1과 같다.

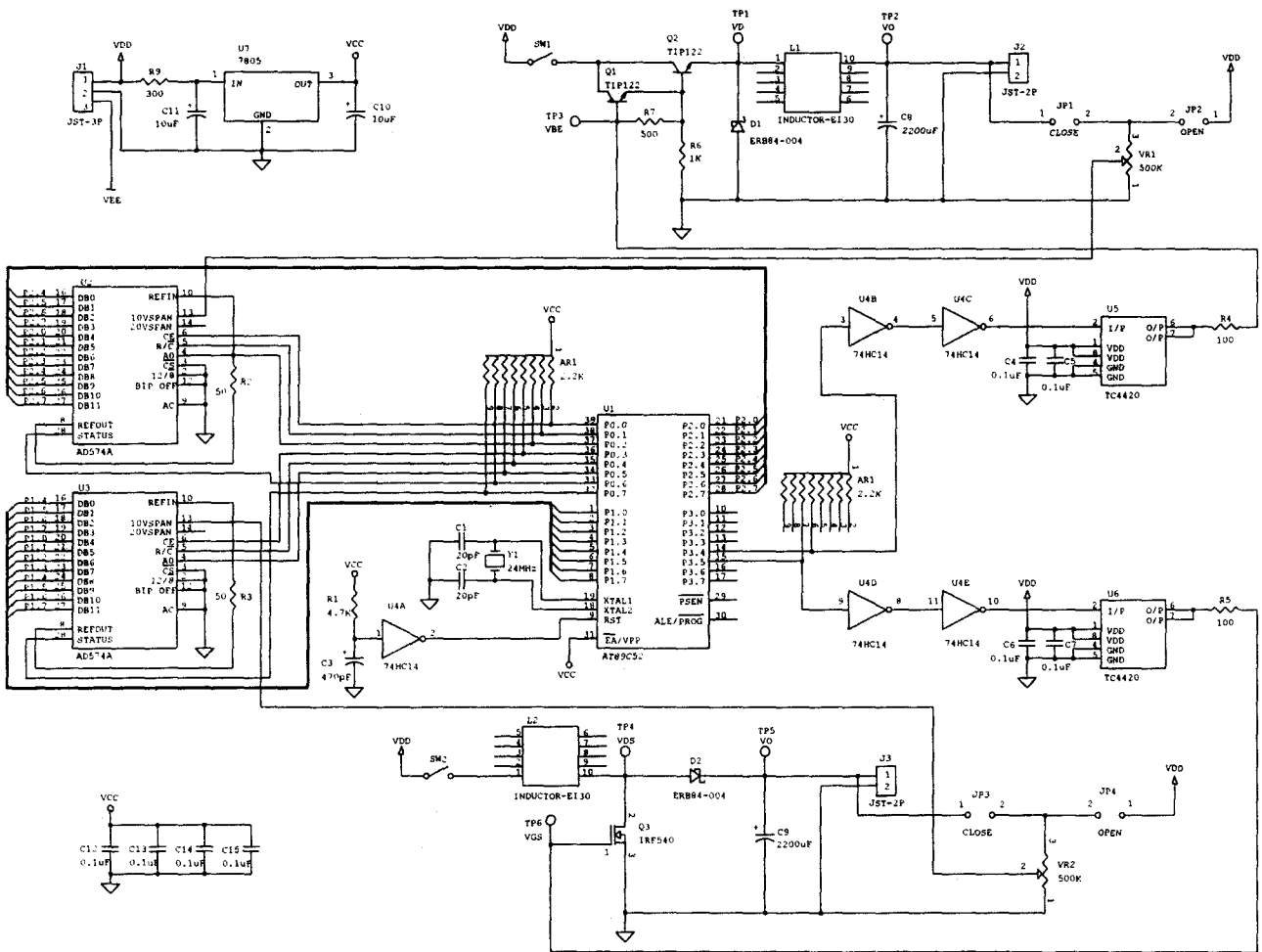


그림 3 DC-DC 컨버터 및 제어기 회로도
Fig. 3 DC-DC converter and controller circuit

표 1 컨버터 사양

Table 1 Converter specification

	Buck	Boost
Input Voltage (V)	15	15
Output Voltage (V)	5	24
Output Current (A)	1	1
Switching Frequency (kHz)	20	10

그림 4와 5는 강압형 컨버터가 전부하 상태에서 동작하고 있을 때의 스위칭 파형 및 출력전압 리플 파형을 나타낸다.

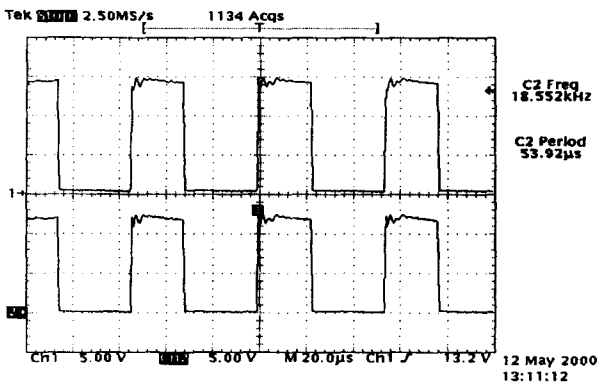


그림 4 강압형 컨버터의 PWM(상,5V/div) 및 V_b (하, 5V/div) 파형 ($I_{O1}=1A$)
Fig. 4 PWM(above,5V/div) and V_b (below,5V/div) of Buck converter ($I_{O1}=1A$)

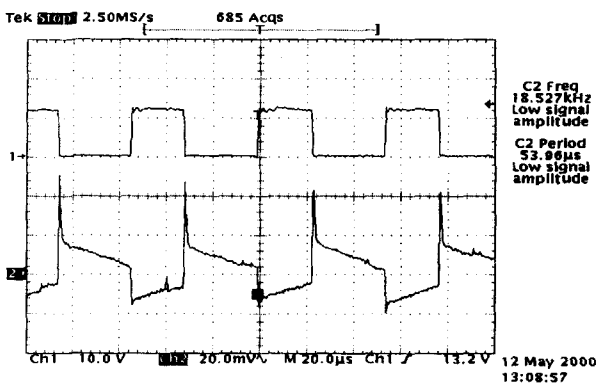


그림 5 강압형 컨버터의 V_b (상,10V/div) 및 V_{O1} 리플(하, 20V/div) ($I_{O1}=1A$)
Fig. 5 V_b (above,10V/div) and V_{O1} ripple(below, 20V/div) of Buck converter ($I_{O1}=1A$)

그림 6과 7은 승압형 컨버터가 전 부하상태에서 동작하고

있을 때의 스위칭 파형 및 출력전압 리플 파형을 나타내고 있다. 측정된 파형을 볼 때 강압형 및 승압형 컨버터가 각각 독립적으로 제어되고 있음을 확인할 수 있고, 8 비트 마이크로 프로세서의 낮은 프로그램 처리속도로 인하여 다소 불연속구간이 존재함을 알 수 있으며, 추후 제어이론의 보완 및 프로그래밍 기법의 개발을 통하여 더욱 안정적이고 우수한 제어기 개발이 필요한 부분이라 할 수 있다.

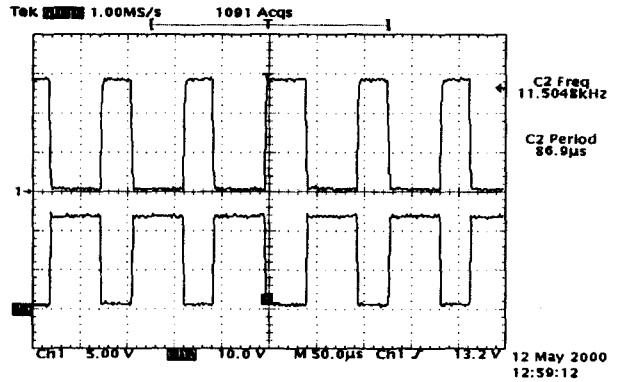


그림 6 승압형 컨버터의 V_{GS} (상,5V/div) 및 V_{DS} (하,10V/div) 파형 ($I_{O2}=1A$)
Fig. 6 V_{GS} (above,5V/div) and V_{DS} (below,10V/div) of Boost converter ($I_{O2}=1A$)

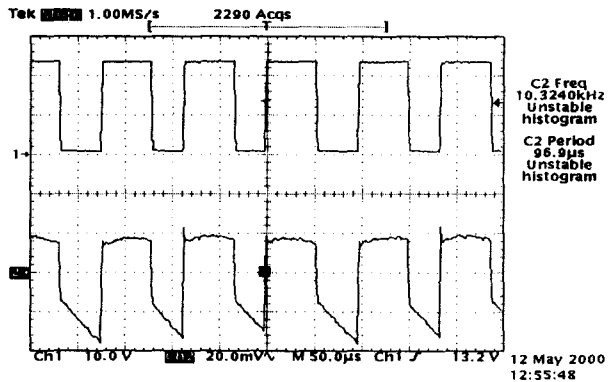


그림 7 승압형 컨버터의 V_{DS} (상,10V/div) 및 V_{O2} 리플(하, 20mV/div) ($I_{O2} = 1A$)
Fig. 7 V_{DS} (above,10V/div) and V_{O2} ripple(below,20mV/div) of Boost converter ($I_{O2} = 1A$)

그림 8은 강압형 컨버터의 부하특성을 나타내고 있으며, 그림 9는 부하변동에 따른 효율을 각각 나타내고 있다.

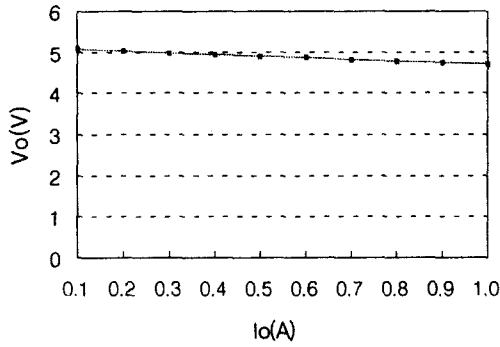


그림 8 강압형 컨버터의 출력전압 변동
Fig. 8 Output voltage regulation of Buck converter

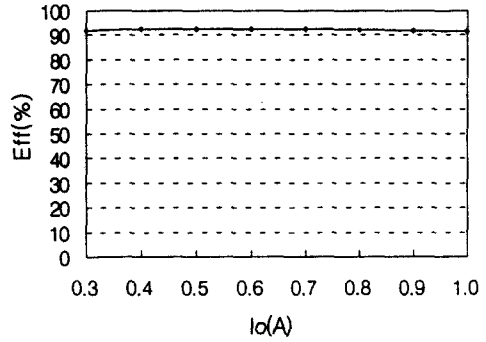


그림 11 승압형 컨버터의 효율
Fig. 11 Efficiency of Boost converter

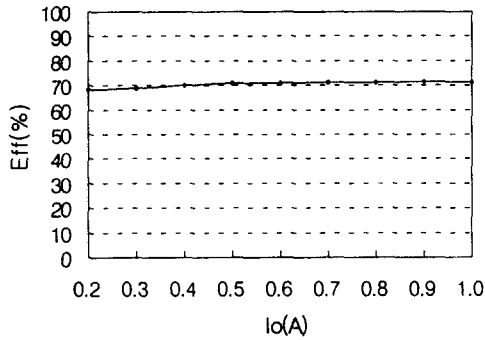


그림 9 강압형 컨버터의 효율
Fig. 9 Efficiency of Buck converter

그림 10은 승압형 컨버터의 부하특성을 나타내고 있으며, 그림 11은 부하변동에 따른 효율을 각각 나타내고 있다.

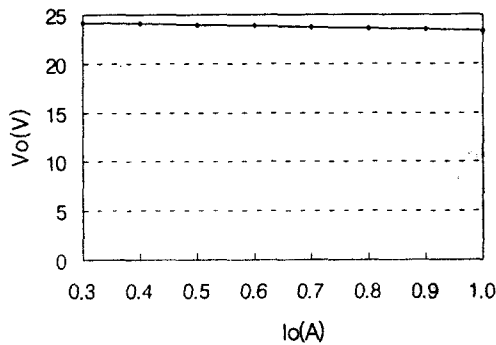


그림 10 승압형 컨버터의 출력전압 변동
Fig. 10 Output voltage regulation of Boost converter

5. 결 론

지금까지 제안된 DC-DC 컨버터의 디지털 제어기에 비하여 저렴하고도 구조가 간단한 디지털 제어기를 구성하여 강압형 컨버터와 승압형 컨버터를 동시에 독립적으로 제어하는 새로운 개념의 다출력 전원시스템을 제안하고 제어 알고리즘을 설명하였으며, 실험을 통하여 각 컨버터의 제어특성을 확인하였다.

하나의 8비트 CPU로 두 개의 독립된 컨버터를 제어하였다는 것이 큰 특징이라 할 수 있으며, 매우 저렴하고도 구조가 간단한 CPU를 적용함에 따라 제어회로의 가격이 높고 구조가 복잡한 기존 DC-DC 컨버터 디지털 제어회로의 단점을 보완할 수 있게 되었다. 추후 제어이론을 개발하고 보완하면 다출력을 요구하는 산업용 전원장치분야 및 이동통신장치에 디지털 제어기술을 적용한 전원시스템의 실용화도 가능하게 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] V. Vorperian, "Simplified Analysis of PWM Converters Using the Model of the PWM Switch, Part I: Continuous Conduction Mode, Part II: Discontinuous Conduction Mode", VPEC Seminar, September 1989.
- [2] Kwang-Hwa Liu, Ramesh Oruganti and Fred C. Lee, "Resonant Switches-Topologies and Characteristics", IEEE PESC Rec. pp. 106-116, 1985.
- [3] 김희준, "스위치 모드 파워 서플라이", 성안당, 1996.
- [4] F. Ueno, T. Inoue, I. Oota and M. Sasaki, "Regulation of Cuk Converters using fuzzy controllers," INTELEC

'91 Record, pp. 261-267, 1991.

[5] W. C. So, C. K. Tse and Y. S. Lee, "Development of a Fuzzy Logic Controller for DC/DC Converters : Design, Computer Simulation and Experimental Evaluation", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.11, No. 1, pp. 24-32, January 1996.

[6] 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-bit Micro-controller", IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 44, No. 5, October 1997.

[7] Atmel Corporation, "AT89C52 Datasheets : 8-bit Microcontroller with 8K Bytes Flash ", 1993.

저 자 소 개



박 효 식 (朴 孝 植)
 1965년 8월 21일 생. 1989년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 8월 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 1991~현재 (주)현대엘리베이터 기술연구소 선임연구원.

Tel : 031-644-5121, Fax : 031-636-8523
 E-mail : pposik@shinbiro.com



김 희 준 (金 熙 峻)
 1976년 한양대 공대 전자공학과 졸업. 1978년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1986년 3월 일본 큐슈대 대학원 전자공학과 졸업(공학). 1987년~현재 한양대학교 전자·컴퓨터공학부 교수. 1991~1992년

미국 버지니아공대 방문교수. 현재 대한전기학회 평의원, 대한전기학회 B부문학회 재무이사.
 Tel : 031-400-5164, Fax : 031-407-9930
 E-mail : hjkim@email.hanyang.ac.kr