

퍼지 제어기에 의한 강압형 및 승압형 DC-DC 컨버터의 동시제어

論 文

50B-2-6

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

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

Abstract - This paper presents a multi output converter system that controls, simultaneously, the separate buck converter and boost converter with the different specification by one digital controller using fuzzy algorithm. As two separate converters are regulated by only one DSP, it is possible to achieve the simple digital control circuit for regulating multi output DC-DC converter. Inference procedure of fuzzy controller is included. The control characteristics of each PWM DC-DC converter is validated by experimental results.

Key Words : DSP, Fuzzy Controller, Buck and Boost Converter, Simultaneous

1. 서 론

전자기기 전반에 걸쳐 폭넓게 사용되고 있는 DC-DC 컨버터는 지속적인 연구개발을 통하여 고효율, 안정성 개선 및 소형화를 위한 많은 성과를 거두고 있으나 아날로그 제어방식을 이용한 소자 개선, 회로 구조변경, 또는 제어특성 개선 등의 연구개발이 대부분을 차지하고 있다. 그러나 아날로그 제어방식의 경우 비선형 시스템에 대한 수학적 모델링이 어렵기 때문에 고성능의 제어기 및 제어 알고리즘을 설계하는데 많은 어려움이 뒤따르게 된다[1]~[3].

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 사용하기 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. 또한 제어기 설계에 있어 적절한 제어 알고리즘을 적용함으로써 고성능의 제어기를 구현할 수 있는데, 대표적인 알고리즘으로 퍼지론리가 폭넓게 적용되고 있다. 시스템에 퍼지론리를 적용시 비선형 시스템에 대한 복잡한 수학적 모델링을 생략하고 인간의 언어학적인 요소를 제어 알고리즘에 적용함으로써, 매우 용이하게 시스템의 고성능 실시간 제어를 구현하고 있다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고, 제어회로의

복잡한 구조로 인하여 디지털 제어방식의 상용화가 활발히 진행되지 못하고 있기 때문에 제어성능이 우수하면서도 구조가 간단한 디지털 제어회로의 필요성이 크게 대두되고 있다[4]~[7].

본 논문에서는 하나의 DSP를 이용하여 사양이 다른 별도의 강압형 컨버터 및 승압형 컨버터를 동시에 제어하는 새로운 시스템을 제안하고, 퍼지제어 알고리즘을 적용함으로써 제어성능이 우수하면서 제어구조가 간단한 디지털제어 다출력 전원을 제시한다. 또한 실험 결과를 통하여 강압형 및 승압형 컨버터가 문제없이 제어됨을 보임으로써 본 논문에서 제안한 하나의 퍼지제어기에 의한 강압형 및 승압형 PWM DC-DC 컨버터 동시제어의 타당성을 입증한다.

실험에 적용된 강압형 컨버터의 사양은 스위칭 주파수 10KHz, 출력전압 5V, 출력전류 1A이고, 승압형 컨버터는 스위칭 주파수 10KHz, 출력전압 24V, 출력전류 1A의 컨버터이며, DSP는 TMS320C32가 적용되었다.[8]

2. 퍼지 제어기에 의한 강압형 및 승압형 컨버터의 동시제어

그림 1은 퍼지제어기에 의한 강압형 및 승압형 PWM DC-DC 컨버터의 동시제어에 대한 블록도이다. 그림에서와 같이 강압형 및 승압형 컨버터의 출력전압을 각각 검출하여 퍼지제어기에 입력시키면, 퍼지제어기는 각 컨버터의 기준전압에 대한 출력전압의 오차값 및 오차의 변동값을 퍼지제어기의 입력으로 설정하여 퍼지화시킨 후, 퍼지 룰 테이블을 참조하여 퍼지제어기의 이득을 추론하고, 이를 컨버터에 대한 PWM 파형값으로 비퍼지화하여 출력한다. 퍼지제어기로부터 출력되는 PWM 파형을 구동회로를 통하여 컨버터의 스위치에 전달함으로써 각 컨버터를 독립적으로 제어한다.

* 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 29日

最終完了 : 2001年 2月 9日

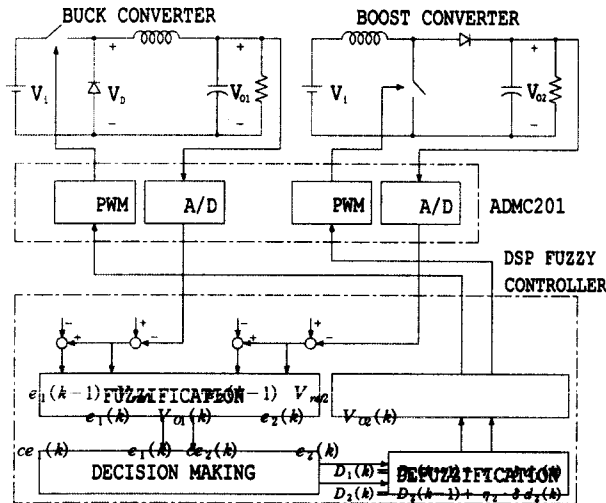


그림 1 시스템 블록도
Fig. 1 System block diagram

3. 퍼지제어 알고리즘

퍼지제어기는 퍼지화, 추론, 비퍼지화 등의 3가지 과정으로 크게 나누어 생각할 수 있는데, 퍼지화란 입력데이터를 언어화적인 값이나 함수로 변환시켜 주는 과정을 말하고, 추론이란 퍼지제어 룰에 의하여 입력값에 대한 보상값을 결정하는 과정을 말한다. 또한 비퍼지화란 결정된 보상값을 시스템 제어를 위한 출력값으로 변환시키는 과정을 말한다.

퍼지제어기의 입력은 각 컨버터의 기준전압에 대한 출력전압의 오차값 $e_1(k)$, $e_2(k)$ 와 출력전압 오차의 변동값 $ce_1(k)$, $ce_2(k)$ 로 정의하며, 강압형 컨버터의 입력에 대한 표현식은 식 (1)과 같고,

$$\begin{aligned} e_1(k) &= V_{ref1} - V_{O1}(k) \\ ce_1(k) &= e_1(k) - e_1(k-1) \end{aligned} \quad (1)$$

승압형 컨버터의 입력에 대한 표현식은 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} e_2(k) &= V_{ref2} - V_{O2}(k) \\ ce_2(k) &= e_2(k) - e_2(k-1) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 첨자 1은 강압형 컨버터에 대한 변수임을 나타내고, 첨자 2는 승압형 컨버터에 대한 변수임을 나타내며, k 는 k 번째 샘플링값을, $(k-1)$ 은 $(k-1)$ 번째 샘플링값임을 의미한다. 또한 V_O 는 컨버터의 출력전압값을, V_{ref} 는 컨버터의 기준전압값을 각각 의미한다.

퍼지제어기의 출력은 컨버터의 시비율 $D_1(k)$, $D_2(k)$ 로 정의되며, 식 (3), (4)와 같이 표현한다.

$$D_1(k) = D_1(k-1) + \eta_1 \cdot \delta d_1(k) \quad (3)$$

$$D_2(k) = D_2(k-1) + \eta_2 \cdot \delta d_2(k) \quad (4)$$

여기서 η 는 퍼지제어기의 이득을 의미하며, $\delta d(k)$ 는 퍼지제어기의 추론에 의하여 산출한 시비율의 보상값을 의미한다.

퍼지변수에 대한 퍼지함수의 수는 시스템에 따라 다르게 결정되지만 본 논문에서는 2개의 컨버터를 동시에 제어하여야 하기 때문에 계산용량을 고려하여 표 1과 같이 PB (Positive Big), PS(Positive Small), ZO(Zero), NS(Negative Small), NB(Negative Big) 등 5개 퍼지 룰의 조합으로 이루어지는 부분집합들로 구성하며, 강압형 PWM 컨버터 및 승압형 PWM 컨버터의 경우 시비율의 증감에 따른 출력전압의 증감태가 일치하기 때문에 하나의 퍼지 룰을 선정하여 같이 적용하여도 무방하므로 e , ce 와 같이 첨자를 생략하여 표시한다.

표 1 퍼지 룰 테이블

Table1 Fuzzy rules table

$ce \backslash e$	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NB
NS	ZO	NS	NS	NS	NS
ZO	PS	ZO	ZO	ZO	NS
PS	PS	PS	PS	PS	ZO
PB	PB	PB	PB	PB	PB

또한 퍼지소속함수의 형태는 복잡한 계산을 피하기 위하여 그림 2와 같이 삼각형의 형태를 갖는 퍼지소속함수로 결정한다.

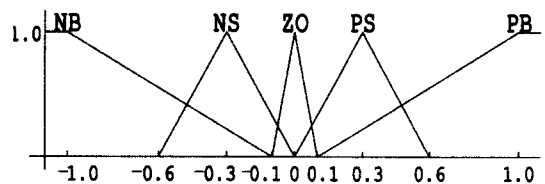


그림 2 퍼지 소속함수

Fig. 2 Fuzzy membership function

그림 2와 같은 퍼지소속함수를 갖는 시스템에서 임의의 샘플링 순간에서 퍼지입력 e , ce 가 소속될 수 있는 소속함수의 개수는 최대 2개에 불과하므로 그 순간에 고려하여야 할 퍼지 룰의 개수도 최대 4개로 줄일 수 있다. 예를 들어 $e = -0.4$, $ce = 0.05$ 인 순간을 가정하면 출력전압 오차값 e 는 그림 3에서 알 수 있듯이 소속함수 NS, NB에 소속되고, 오차의 변동값 ce 는 ZO, PS에 소속되어 e 와 ce 의 부분집합은 (NB,ZO), (NB,PS), (NS,ZO), (NS,PS)의 4개로 구성되며, 이때 각 입력에 대한 퍼지함수의 값은 $\mu_{NS}(e) = 0.67$, $\mu_{NB}(e) = 0.33$, $\mu_{ZO}(ce) = 0.5$, $\mu_{PS}(ce) = 0.17$ 이 된다.

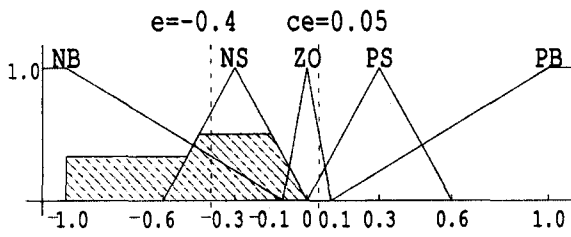


그림 3 퍼지 추론과정

Fig. 3 Fuzzy inference procedure

추론결과는 각 룰에 대한 가중치 w_i 와 룰 테이블에 의해 결정되는 시비율 변화의 크기 C_i 등의 2가지로 구성되며, Mamdani의 min fuzzy implication을 적용한 각 룰의 추론결과는 식 (5)와 같이 표현된다.

$$z_i = \min\{\mu_e(e), \mu_{ce}(ce)\} = w_i C_i \quad (5)$$

여기서 z_i 는 i 번째 룰에 의해 추론된 시비율의 보상값을 나타낸다.

식 (5)에서 추론된 시비율 보상값 z_i 는 언어화적인 형태의 결과이므로 이를 비퍼지화 과정을 통하여 퍼지제어기 출력값으로 변환하는 과정이 필요하며, 일반적으로 많이 사용되고 있는 무게중심법을 적용하여 표현하면 식 (6)과 같다.

$$\delta d(k) = \frac{\sum_{i=1}^N z_i}{\sum_{i=1}^N w_i} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i \cdot C_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (6)$$

$e = -0.4, ce = 0.05$ 순간의 추론결과를 식 (6)으로부터 산출하면 $N=4$ 이므로 $\delta d(k) = 0.598$ 이 되고, 시비율 보상값은 퍼지제어기 이득 η 를 곱한 0.598η 이 된다. 따라서 이 순간의 최종적인 시비율은 식 (7)과 같이 주어진다.

$$D(k) = D(k-1) + 0.598 \cdot \eta \quad (7)$$

4. 실험 결과

그림 4는 본 논문의 실험에서 사용된 시스템의 회로도로서 Motion coprocessor인 ADCM201을 통하여 강압형 및 승압형 컨버터의 출력전압을 각각 샘플링하고, 샘플링된 출력전압을 데이터화하여 DSP TMS320C32 모듈로 전송한다. DSP에서는 퍼지제어기에 의해 현재 출력전압을 보상하기 위한 시비율을 산정한 후 ADCM201로 전송하면, ADCM201 내에서 PWM 파형으로 변환되어 스위치 구동소자 TC4420을 통하여 각 스위치로 전달된다. ADCM201은 3 채널까지의 아날로그 파형을 동시에 샘플링 할 수 있기 때문에 본 논문에서와 같이 강압형 및 승압형 컨버터의 출력전압 샘플링이 필요한 경우 동시 샘플링의 장점으로 인하여 샘플링 시간을 그만큼 짧게 할 수 있다.

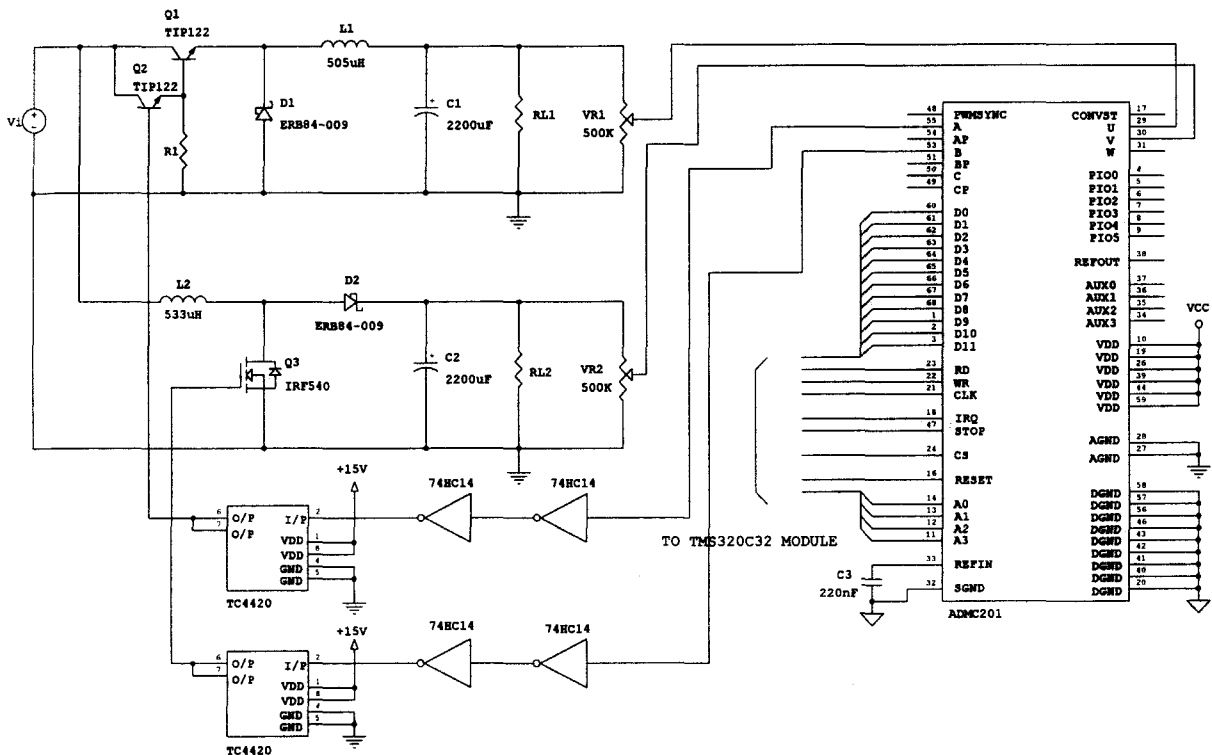


그림 4 회로도

Fig. 4 Circuit diagram

실험에서 사용된 강압형 컨버터와 승압형 컨버터의 사양 및 소자는 표 2와 같다.

표 2 컨버터 사양
Table 2 Converter specification

	Buck	Boost
Input Voltage (V)	15	15
Output Voltage (V)	5	24
Output Current (A)	1	1
Switching Frequency (KHz)	10	10
Fuzzy Gain η	0.0003	0.0001
Main Switch	TIP122	IRF540
Filter Inductance (μ H)	505	533
Filter Capacitance (μ F)	2200	2200

그림 5와 7은 각 컨버터가 전부하 상태에서 동작하고 있을 때 컨버터 스위칭 파형 및 출력전압 리플 파형을 나타내고 있으며, 그림 6과 8은 부하전류를 0.2A에서 1A로 변화시켰을 때의 출력전압 변동을 나타내는 파형으로서 강압형 및 승압형 컨버터가 각각 독립적으로 제어되고 있음을 확인할 수 있다.

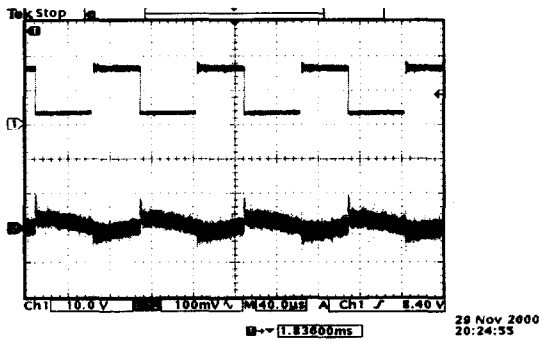


그림 5 강압형 컨버터의 V_D (ch1,10V/div) 및 V_O (ch2,100mV/div) 리플 ($I_O = 1A$)
Fig. 5 V_D (ch1,10V/div) and V_O (ch2,100mV/div) ripple of Buck converter ($I_O = 1A$)

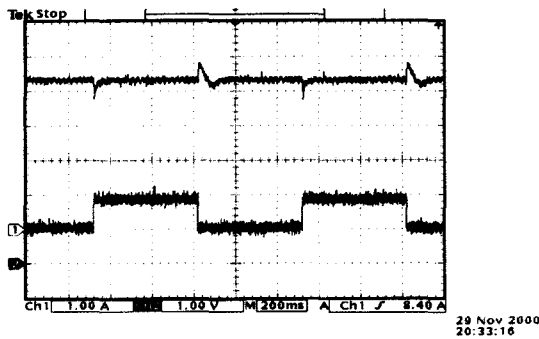


그림 6 강압형 컨버터의 부하전류(ch1,1A/div) 및 출력전압(ch2,1V/div) ($I_O=0.2 \rightarrow 1A$)
Fig. 6 Load current(ch1,1A/div) and output voltage(ch2,1V/div) of Buck converter ($I_O=0.2 \rightarrow 1A$)

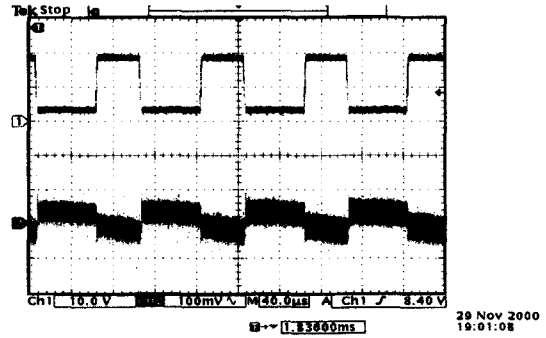


그림 7 승압형 컨버터의 V_{GS} (ch1,10V/div) 및 V_O 리플(ch2,100mV/div) ($I_O = 1A$)
Fig. 7 V_{GS} (ch1,10V/div) and V_O (ch2,100mV/div) ripple of Boost converter ($I_O = 1A$)

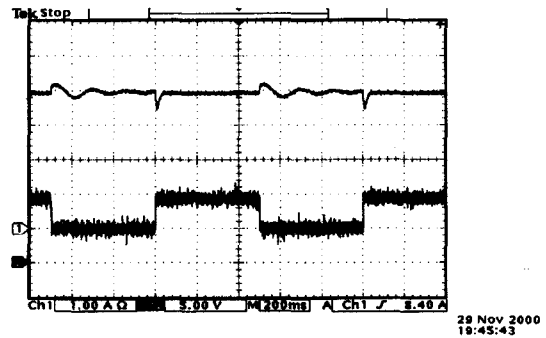


그림 8 승압형 컨버터의 부하전류(ch1,1A/div) 및 출력전압(ch2,2.5V/div) ($I_O=0.2 \rightarrow 1A$)
Fig. 8 Load current(ch1,1A/div) and output voltage(ch2,2.5V/div) of Boost converter ($I_O=0.2 \rightarrow 1A$)

5. 결 론

하나의 DSP를 이용하여 사양이 다른 별도의 강압형 컨버터 및 승압형 컨버터를 동시에 제어하는 새로운 시스템을 제안하고, 퍼지제어 알고리즘을 적용함으로써 제어성능이 우수하면서 제어구조가 간단한 디지털제어 다출력 전원을 제시한다. 또한 실험 결과를 통하여 강압형 및 승압형 컨버터가 문제없이 제어됨을 보임으로써 본 논문에서 제안한 하나의 퍼지제어기에 의한 강압형 및 승압형 PWM DC-DC 컨버터 동시제어의 타당성을 입증한다.

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 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-b Microcontroller", IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 44, No. 5, October 1997.
- [7] T. L. Liao, and N. S. Huang, "Genetic Algorithm-Based SelfLearning Fuzzy PI Controller for Buck Converter", ETEP, Vol. 9, No. 4, July/August 1999.
- [8] Texas Instruments TMS320C3X User's Guide, Texas Instruments Inc., 1993.

저 자 소 개



김희준 (金熙峻)

1976년 한양대 공대 전자공학과 졸업.
1978년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사).
1986년 3월 일본 큐슈대 대학원 전자공학과 졸업(공학박). 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



박효식 (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