DSP를 이용한 Synchronous Buck Converter의 병렬 제어

김정훈*, 임정규*, 신휘범*, 정세교*, 이현우**
*경상대학교 전기전자공학부, **경남대학교

Parallel Control of Synchronous Buck Converter Using DSP

Jeong-Hoon Kim, Jeong-Gyu Lim, Hwi-Beom Shin, Se-Kyo Chung, Hyun-Woo Lee
Gyeongsang National University, Kyungnam University

ABSTRACT

This paper represents a digital parallel control of a synchronous buck converter using a digital signal processor (DSP). The digital PWM and load sharing controller is implemented in the DSP TMS320F2812 and the experimental results are provided to show the feasibility of the digital synchronous buck regulator.

1. 서 론

최근 들어 Microprocessor등과 같은 전자소자의 집적도 향상으로 소자의 전원이 저 전압, 고 전류 화 되고 있어, Synchronous buck converter를 이용한 Voltage regulation module (VRM)과 이들 컨버터의 병렬운전에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. Synchronous buck converter의 병렬운전은 컨버터 용량의 확대 뿐 만 아니라 Interleave 동작을 통해 전류와 전압리플을 감소 시킬 수 있다는 장점이 있다. 이러한 병렬운전을 위해서는 정확한 스위칭 타이밍, 개별 컨버터의 부하분담, 리플감소를 위한 Interleave 구동 등이 매우 중요한 기술이다[1]-[5].

현재 대부분의 DC/DC 컨버터는 아날로그 방식의 PWM 컨트롤러를 이용하여 제어하고 있으나 근래에 와서 디지털 프로세서의 속도 향상과 ASIC을 위한 CAD 환경의 발전으로 디지털 방식의 제어에 대한 관심이 커지고 있다. 디지털 방식으로 제어가 되면 보다 지능화된 고급의 제어 방법을 사용할 수 있으며 다중 컨버터 제어 시 스위칭 타이밍 선정, 컨버터의 고장진단 등에 유리한 장점이 있다.

따라서 본 논문에서는 DSP를 이용한 동기 벅 컨버터의 제어에 대한 연구를 수행하였다. 디지털 제어기로는 TI의 TMS320F2812를 사용하였으며, 두 대의 Synchronous buck converter에 대해 실험을 수행하고 가능성을 입증하였다.

2. 시스템의 구성

그림 1은 병렬연결 된 두 대의 Synchronous buck converter와 DSP 제어기의 구성을 나타내고 있다. 두 컨버터의 제어를 위한 PWM 신호는 DSP에서 발생되며 각 컨버터의 PWM 펄스는 Interleave 구동을 위해 180도 위상 차를 가지고 있다. 인덕터 전류의 제어 및 부하분담을 위해 전류를, 출력전압 제어를 위해 전압을 궤환하며 이 값들은 DSP의 A/D 컨버터로 입력되어 평균전류와 전압을 제어할 수 있게 된다. 전류와 전압제어 알고리즘은 DSP의 소프트웨어로 구현된다.

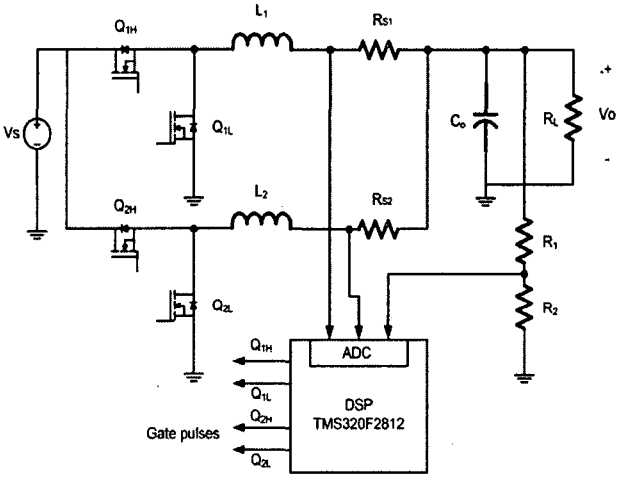

그림 1 Synchronous buck converter의 병렬제어 시스템 구성
Fig. 1 Parallel control system of two synchronous buck converters

3. 디지털 PWM 제어

3.1 PWM Gate 신호의 발생

하나의 Synchronous buck converter에서 High 및 Low side 게이트 신호가 필요하므로 두 대의 컨버터를 위해서는 총 4개의 게이트 신호가 필요하다. 또한 Interleave 동작을 위해서 각 컨버터의 게이트 신호는 180도의 위상차를 가져야 한다. 컨버터의 대수가 N이라면 Interleave 동작을 위해서 각 컨버터의 위상차는 다음과 같다.

$$\Phi_d = 360^o / N \quad (1)$$

그리고 첫 번째 컨버터에 대한 각 컨버터 게이트 신호의 시간 지연은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi_i = (i-1)T/N \quad (2)$$

으로 나타낼 수 있다. 여기서 $i = 0, 1, 2, \ldots$이다.

이러한 컨버터의 게이트 신호 발생을 위해서 TMS320F2812 내부의 Event Manager를 이용하였다. 그림 2는 게이트 신호를 나타내고 있으며 Upper와 Low side 게이트 신호의 데드 타임은 역시 Event Manager의 데드타임 기능을 설정하여 사용하였다. 그림 2는 각 DSP에서 발생되는 MOSFET의 게이트 펄스 파형을 나타내고 있다.

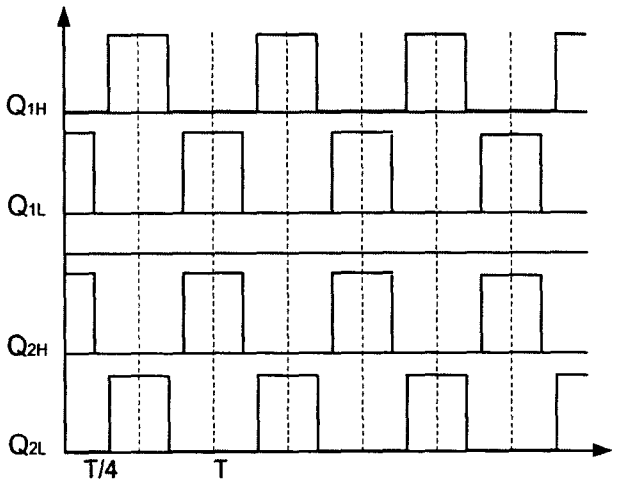

그림 2 두 컨버터의 PWM 게이트 신호
Fig. 2 PWM gate pulses of two converters

3.2 디지털 전류 및 전압 제어기의 구현

전류 및 전압제어기는 DSP 내부의 소프트웨어로 구현되며 PID 제어기를 사용하였다. 전류 및 전압제어를 위해 각 상의 전류와 출력전압을 피드백 하여 DSP 내부의 A/D 변환기를 이용하여 디지털 값으로 변환 하였다. 디지털 제어기의 샘플링 주파수는 스위칭 주파수와 동일한 100kHz이다. 디지털 제어기에서는 각 인덕터 흐르는 전류를 평균전류 모드(Average current mode)로 제어를 하게 되므로 샘플링 위치에 따라 전류 값이 달라진다. 따라서 Upper 스위치의 $t_{on}/2$에서 전류의 샘플링이 이루어지도록 하였다. 그림 3은 전류의 샘플링 시점을 나타내는 그림이다.

그림 4는 전류 및 전압 제어기의 구성을 나타낸 블록 다이어그램이다. 각 전압제어기에서 만들어진 평균전류 명령을 1/2하여 각 컨버터의 인덕터 전류명령으로 사용하며 전류제어기에서 만들어진 전압명령을 이용하여 각 컨버터의 PWM 신호를 만들어 낸다.

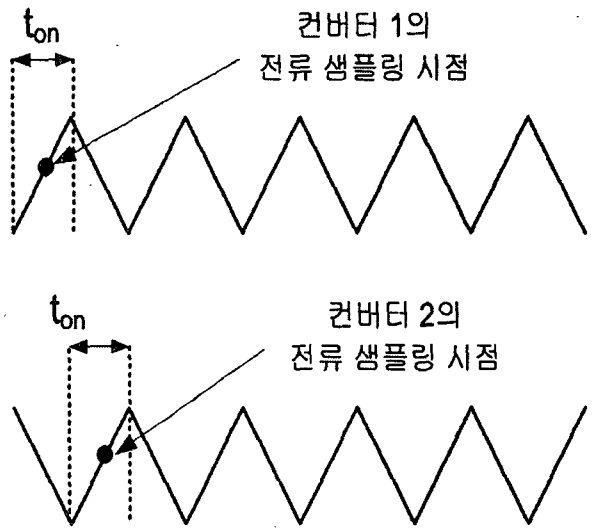

그림 3 인덕터 전류의 샘플링 시점
Fig. 3 Sampling instants of inductor currents

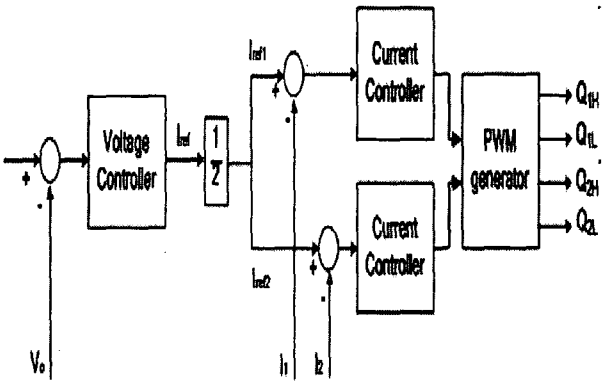

그림 4 전압 및 전류제어기의 구성
Fig. 4 Configuration of voltage and current controllers

4. 실험 및 결과

본 논문에서 구현된 컨버터 및 디지털 제어기의 병렬 제어 성능을 검증하기 위하여 두 대의 synchronous buck converter에 대해서 실험을 수행하였다. 각 컨버터의 필터 인덕턴스 값은 $L_1 = L_2 = 170uF$이고 두 컨버터 공통인 출력 커패시턴스 값은 $C_o = 220uF$이다. 그리고 입력전압은 5V, 출력전압은 2.2V이며 컨버터의 스위칭 주파수는 100kHz 이다.

그림 5는 병렬 컨버터 제어를 위한 게이트 펄스를 나타내고 있다. 컨버터 1과 2의 게이트 펄스의 위상은 180도 차이가 있다. 그림 6은 각 컨버터의 인덕터 전류와 출력 커패시터로 흘러들어가는 두 컨버터 인덕터 전류의 합을 나타내고 있다. 두 컨버터가 180도의 위상차를 가지고 Interleave 동작을 하므로 전류의 맥동이 서로 상쇄되어 전류 리플이 크게 줄어듦을 볼 수 있다.

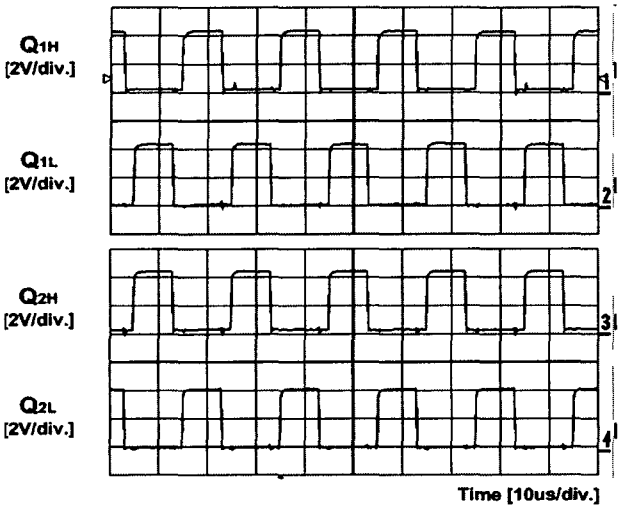

그림 5 두 컨버터의 게이트 펄스 파형
Fig. 5 Gate pulse waveforms of two converters

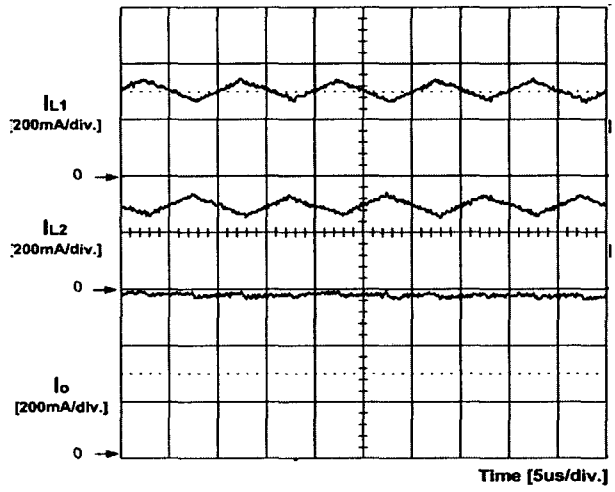

그림 6 두 컨버터의 인덕터 전류와 출력 커패시터의 입력전류 파형
Fig. 6 Inductor current waveforms of two converters and input current waveform of output capacitor

5. 결 론

본 논문에서는 DSP를 이용하여 여러 대의 Synchronous buck 컨버터를 병렬제어 하는 시스템을 구현하였고 두 대의 컨버터에 대한 실험을 수행하였다. 실험결과 구현된 제어기가 잘 동작함을 볼 수 있었다. DC/DC 컨버터의 디지털 제어는 아직 초기 Cost 문제와 전류, 전압과 같은 아날로그 신호의 피드백 등의 문제가 있어 소형 컨버터에는 적용되지 않고 있지만, Synchronous buck 컨버터의 Multiple 제어와 같은 경우 부하분담, 출력전압제어, 정밀한 게이트 타이밍의 발생 등 장점이 많아, 향후 디지털 제어기의 ASIC화 등이 이루어진다면 실용적으로 사용될 수 있을 것이다. 따라서 본 논문에서는 그 가능성을 입증하였다고 생각된다.

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라 구축지원사업의 지원에 의하여 수행된 연구결과입니다.

참 고 문 헌

[1] S. K. Mazumder and S. L. Kamisetty, "Design and experimental calidation of a multiphase VRM controller", IEE proc. Electric Power Appl., vol. 152, no. 5, pp. 1076-1084, 2005.

[2] N. Berbel, J. M. Guerrero, J. Cruz, J. Miret, and M. Castilla, "One-cycle control for the parallel operation of synchronous buck converters", Conf. Rec. IEEE ISIE2005, pp. 795-798, 2005.

[3] W. Huang, "The design of a high-frequency multiphase voltage regulator with adaptive voltage positioning and all ceramic capacitors", Conf. Rec. IEEE APEC2005, pp. 270-275, 2005.

[4] W. Huang, G. Schuellein, and D. Clavette, "A scalable multiphase buck converter with average current share bus", Conf. Rec. IEEE APEC2003, pp. 438-443, 2003.

[5] W. Huang, "A new control for multi-phase buck converter with fast transient response", Conf. Rec. IEEE APEC2001, pp. 273-279, 2001.