

빠른 응답을 갖는 멀티페이스 벅 변환기

Multi-Phase Buck Converter with Fast Transient Response

이 윤 재 *, 노 정 진*

Yoon-Jae Lee*, Jeongjin Roh*

Abstract

Recently, efforts to maximize battery life in progress with an increase in the demand for portable devices. In this paper, we propose multi-phase buck converter with fast transient response. Multi-phase buck converter may be used for the output capacitor of small size because the ripple cancellation effect, it is possible to use an inductor having an inductance less. The portable device for quick change from standby mode to active 4-phase design structure was given a fast transient response. The proposed multi-phase buck converter was fabricated using a 0.18 um CMOS process and the supply voltage ranges from 2.7V to 3.3V, the maximum load current is 500mA and settling time is 10us.

요 약

최근 휴대용 기기의 수요가 증가함에 따라 배터리 사용시간을 최대화하기 위한 노력이 진행되고 있다. 본 논문에서는 빠른 과도 응답을 갖는 멀티페이스 벅 변환기를 제안한다. 멀티페이스 벅 변환기는 리플 상쇄 효과가 있기 때문에 작은 크기의 출력 캐패시터를 사용할 수 있고, 더 적은 인덕턴스를 갖는 인덕터의 사용이 가능하다. 휴대용 기기가 대기 모드에서 활성 모드로 빠르게 변할 수 있도록 4-페이스 구조로 설계하여 빠른 과도 응답을 갖게 하였다. 사용된 공정은 Hynix 0.18um CMOS 공정을 통해 제작되었고 공급전압 범위는 2.7~3.3V 이며, 최대 부하 전류는 500mA, settling time은 14us이다.

Key words : DC-DC converter, multi-phase, fast transient response, ripple reduction, high efficiency

* Dept. of Electronics Engineering, Hanyang University

★ Corresponding author

yunjae01@naver.com, 031-400-4672

※ Acknowledgment: This work was supported by the Industrial Core Technology Development Program (10049095, "Development of Fusion Power Management Platforms and Solutions for Smart Connected Devices") funded By the Ministry of Trade, industry & Energy and the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIP) (No.2016R1A2B2011248).

Manuscript received Sep. 20, 2016, received Sep. 23, 2016 accepted Sep. 28, 2016

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

최근 휴대전화, 노트북 등과 같은 휴대용 멀티미디어 기기 시장의 발달로 인해 전력 관리 시스템의 중요성이 증가하고 있다. 이러한 휴대용 멀티미디어 기기들은 배터리 전원으로부터 다양한 내부 시스템의 전원 전압을 공급 받아야 한다. 따라서 이를 구현하기 위한 다양한 전력 관리 회로의 개발이 급속도로 증가하고 있다. 전력 관리 회로는 일반적으로 전하 펌프 회로, 리니어 레귤레이터 회로, 스위칭 DC-DC 변환기 등으로 구현할 수 있다 [1]. 스위칭 DC-DC 변환기는 전력 효율이 높으며, 인덕터를 사용함으로 입력전압보다

높은 전압과 낮은 전압을 모두 구현할 수 있다. 멀티페이스 구조의 DC-DC 변환기는 두 개 이상의 인덕터를 사용하여 출력전압을 생성하고 공동으로 부하전류를 공급한다 [2]. 이 구조는 리플상쇄 효과가 있어 출력 커패시터의 크기를 감소시킬 수 있으며, 적은 인덕턴스를 가지는 인덕터의 사용이 가능하여 빠른 과도 응답 특성과 높은 효율을 갖게 된다 [3]. 본 논문에서는 빠른 과도 응답 특성을 갖기 위한 4-페이스 구조의 DC-DC 변환기를 제안한다.

II. 본론

1. 회로구성과 동작특성

가. 회로구성

제안된 멀티페이스 DC-DC 벅 변환기는 그림 1에 나타내었다. 제안된 회로는 네 개의 단일-페이스 모듈레이터가 Interleaved 구조로 구성된다. 각 페이스는 파워 트랜지스터, 게이트 드라이버, 비교기, 전류 센싱 회로, PWM/PFM 동작을 위한 회로로 구성되어 있다. 또한 각 컨트롤러를 제어하기 위해 클럭 발생기, PWM/PFM 결정 회로, 보상회로 등을 설계하였다. 파워 트랜지스터는 부하 시스템에 전력을 공급하는 스위치 역할을 하며 데드타임 버퍼는 SR 래치의 출력신호(PWM신호)를 파워 트랜지스터에 정확히 전달하기 위한 구동회로이다. SR 래치 회로는 클럭 신호와 RST

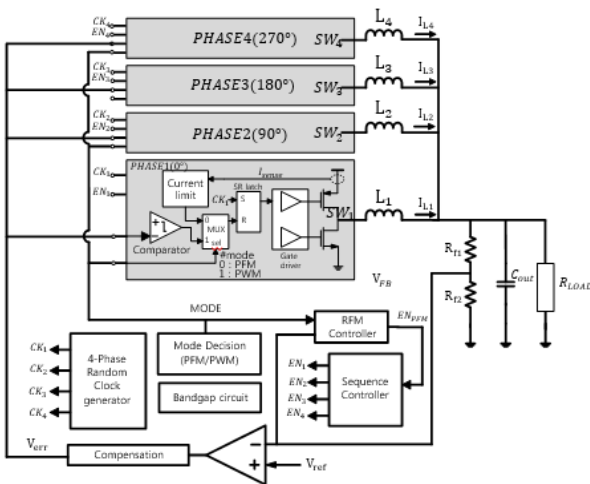


Fig. 1. Proposed DC-DC buck converter.
그림 1. 제안된 DC-DC 벅 변환기

신호를 이용해 PWM 신호를 발생시킨다. 램프 신호는 클럭 신호에 동기되어 톱니파형의 신호를 발생시키며 에러 증폭기와 함께 비교기를 통해 RST 신호를 발생시킨다. 에러 증폭기와 보상회로는 전체 시스템의 안정성과 출력 전류와 입력 전압 변화에 대한 응답 속도에 영향을 준다 [4]. Rf1과 Rf2는 출력전압을 감지하며 L과 C는 2차 필터로서 펄스형태의 전압을 평활 시켜 준다.

나. 리플 상쇄 특성

벅 컨버터는 스위칭 동작으로 인하여 출력전압을 생성하기 때문에 리플 전압이 발생하게 된다. 리플 전압을 줄이기 위한 방법으로는 스위칭 주파수를 높이는 방법이 있다. 하지만 스위칭 주파수가 높아지면 출력 리플 전압은 작아지지만 스위칭 손실이 증가하여 컨버터의 효율이 감소하게 된다. 하지만 멀티페이스 구조를 사용하게 되면 일정한 위상 차이를 가지고 있는 스위칭 주파수가 출력단에서 합산되어 나타나기 때문에 기존 벅 컨버터의 동일한 면적의 인덕터를 사용했을 때의 고주파 스위칭 주파수를 사용했을 때 보다 높은 리플 저감 효과와, 적은 전력 손실을 볼 수 있다. 그림 2와 같이 위상 차이를 갖는 인덕터 전류신호를 이용한 리플 상쇄 효과를 통해 단일

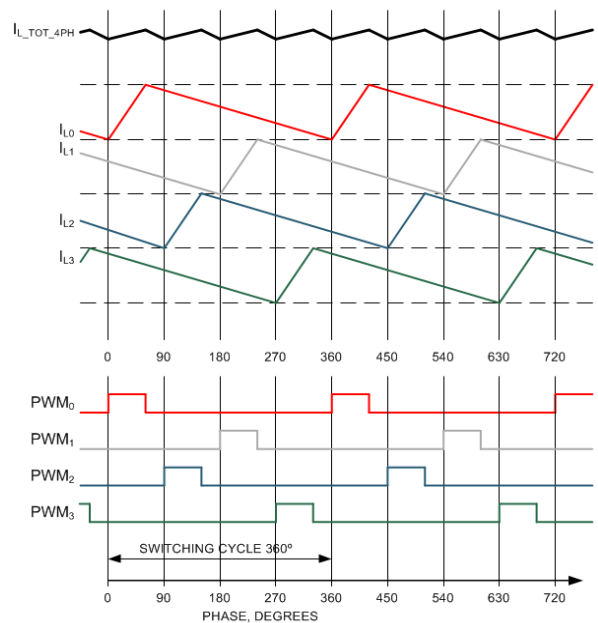


Fig. 2. PWM timings and Inductor current waveforms in 4-phase configuration
그림 2. 4-페이스 PWM 위상차이와 인덕터 전류 파형

페이스 구조의 벡 변환기에 비해 출력에서의 인덕터 전류 리플크기를 줄일 수 있다 [5].

다. 빠른 과도 응답 특성

그림 3은 1-페이스와 2-페이스의 과도 응답을 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 페이스 수를 늘릴수록 벡 변환기의 과도 응답이 상당히 빨라지는 것을 알 수 있다 [5]. 빠른 과도 응답을 요구하는 휴대용 기기에 적합하도록 4-페이스 구조로 설계하였다.

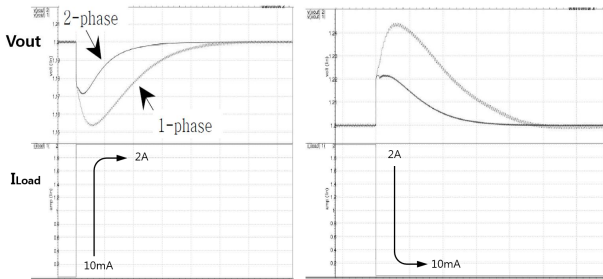


Fig. 3. Buck converter load transient 1-phase vs 2-phase

그림 3. 1-페이스와 2-페이스 벡 변환기 과도 응답 비교

(1) 오차 증폭기 및 보상 회로 설계

빠른 과도 응답을 갖는 벡 변환기 설계에 있어서 중요한 블록 중 하나는 오차 증폭기이다. 특히 기준 전압과 피드백 신호의 전압 차이를 증폭하여 비교기에서 램프 신호와 함께 전체 듀티를 결정하게 되므로 높은 이득과 더불어 빠른 반응속도를 필요로 한다. 따라서 그림 3과 같이 높은 이득과 넓은 대역폭을 갖는 Class-AB OTA를 사용하였다 [6].

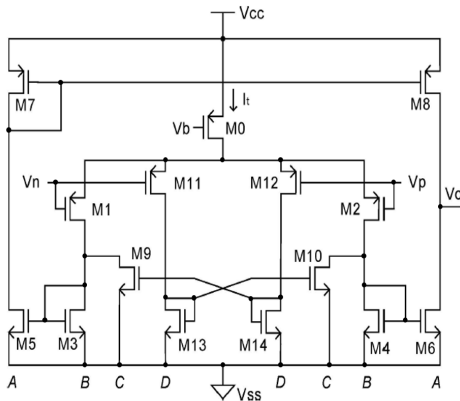


Fig. 4. Schematic fo OTA

그림 4. OTA

벡 컨버터 전체 루프의 안정성을 얻기 위해 Type-3 보상 방법을 선택하였다. 그림 4의 Type-3 보상 회로는 2개의 폴과 2개의 제로를 만들어 크로스 오버 주파수를 높게 만들고 각각의 주파수는 (식1)의 값으로 계산할 수 있다.

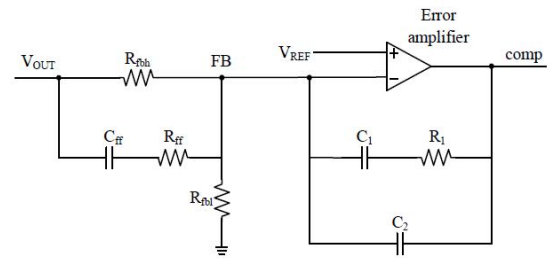


Fig. 5. Type-3 compensation circuit

그림 5. 타입-3 보상 회로

$$f_{z1} = \frac{1}{2\pi(R_{fbh} + R_{ff})C_{ff}}, f_{z2} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1},$$

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi R_{ff} C_{ff}}, f_{p2} = \frac{1}{2\pi R_1 (C_1 // C_2)} \quad (식1)$$

2. 측정결과

설계된 4-페이스 DC-DC 벡 변환기는 Hynix 0.18um 표준 CMOS 공정으로 제작되었고 세부 스펙을 표1에 정리하였다. 그림 6은 측정을 위해 제작된 Test Board 이다.

Table 1. Specification of proposed buck converter

표 1. 제안된 벡 변환기의 스펙

Parameters	Value
Technology	Hynix 0.18um CMOS
Chip area	3.8*1.9mm ²
Number of phase	4
Inductor	0.47uH(@1-phase)
Output capacitor	88uF(22uF*4)
Switching frequency	8MHz(2MHz@1-phase)
Input voltage	2.7~3.3V
Output voltage	1.2~2.3V
Maximum load current	500mA
Peak efficiency	83%(500mA)
Settling time	14us

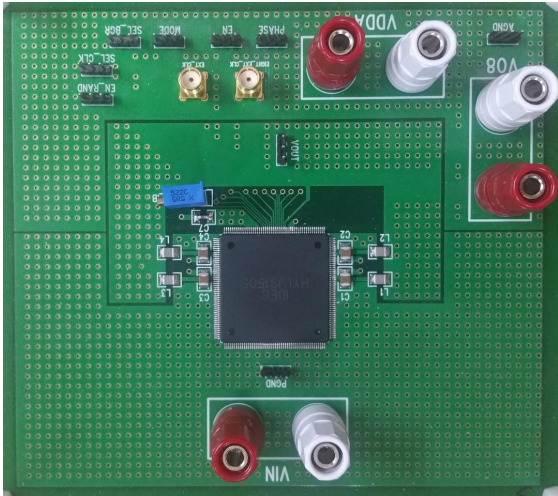


Fig. 6. Manufactured PCB test board
그림 6. 제작된 PCB 시험 보드

그림 8은 설계된 칩의 부하 전류에 따른 레귤레이션을 측정한 것이다. $V_{in}=3V$, $V_{out}=1.2$ 조건에서 $0A \leftrightarrow 500mA$ 의 부하전류 변동을 측정하였다. 부하전류 변동 시 약 $14\mu s$ 의 settling time을 갖고 안정적인 출력전압을 보이고 있다. 4-Phase 방식을 통해 기존 1-Phase 방식의 settling time 보다 약 4배 빠른 수치를 얻었다.

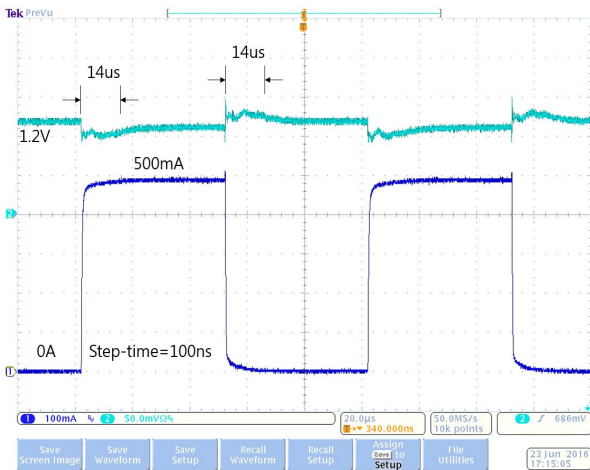


Fig. 8. Load current transient response
그림 8. 출력전류에 대한 과도 응답

III 결론

본 논문에서는 모바일용 백 변환기에서 출력 리플 전압 저감 및 빠른 과도 응답을 갖게하는 멀티페이스 방식의 DC-DC 백 변환기에 대해 제안하였다. 제안된 4-페이스 백 변환기는 실험 측

정을 통해 그 성능이 검증이 되었으며 출력 리플 전압에 민감하고, 빠른 과도 응답을 요구하는 휴대용 모바일 기기 어플리케이션에 적합한 기술이 될 것이다.

References

- [1] C. Y. Leung, P. K. T. Mok, K. N. Leung and M. Chan, "An integrated CMOS current-sensing circuit for low-voltage current-mode buck regulator," *IEEE Trans. Circuits Syst. II*, vol. 52, no. 7, pp. 394394, jul. 2005.
- [2] A. J. Stratakos, S. Sanders, and R. Broderson, "A low-voltage CMOS DC-DC converter for a portable battery-operated system," *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, vol. 1, pp. 619-626, Jun. 1994.
- [3] C. C. Yu, W. P. Wang, and B. D. Liu, "A new level converter for low-power applications," *IEEE International Symposium. Circuit and Syst.* vol. 1, no. 1, pp. 113-116, May. 2001.
- [4] A. Abou-Alfotouh, A. Lotifi, and M. Orabi, "Compensation circuit design considerations for high frequency DC/DC buck converters with ceramic output capacitors," *Applied Power Electronics Conference*, pp. 736-742, Feb. 2007.
- [5] W. Huang, "A new control for multi-phase buck converter with fast transient response," *Applied Power Electronics Conference and Exposition*, vol. 1, pp. 273-279, Mar. 2001.
- [6] J. Roh, "High-Gain Class-AB OTA with Low quiescent Current," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol.47, No.2, pp.225-228, Mar. 2006.
- [7] Jinmin Seok, Jung-Duk Suh and Bai-sun Kong, "Fast Transient Response Techniques for PWM Buck Converter," *Journal of IKEEE*, vol.20, no.1, pp. 103~106, Mar. 2016.