

# PWM 방식 벅 컨버터의 빠른 과도응답 기술

## Fast Transient Response Techniques for PWM Buck Converter

석진민\*, 서정덕\*, 공배선\*  
Jinmin Seok\*, Jung-Duk Suh\*, Bai-Sun Kong\*

### Abstract

PWM buck converters usually use a type-III error amplifier. Since this amplifier has a big capacitor with slow slew rate, they can generate an unintended large overshoot/undershoot at the output when a large load current change occurs. They can also respond slowly by varying the reference voltage. In order to increase battery lifetime, power supplies require a various range of load current and output voltage. PWM buck converter also should have a characteristic of both fast load response and reference tracking. This paper surveys a few recent techniques for reducing the settling time, and discusses their merits and limitations.

### 요약

PWM 벅 컨버터는 3형 오차 보상기를 주로 사용하고 있다. 이 오차 보상기는 낮은 슬루율을 갖게 하는 큰 커패시터로 인해, 부하 전류의 과도응답이 발생하였을 때 부하 전압에 의도하지 않은 큰 오버슈트와 언더슈트를 발생시킨다. 또한 기준전압을 변화시켰을 때의 변화에도 느리게 응답한다. 전원장치의 효율적인 사용을 위해 다양한 부하 전류와 전압이 요구되고 있고, PWM 벅 컨버터 역시 부하 전류 변화와 기준 전압 변화에 따른 부하 전압의 빠른 응답특성을 가져야 한다. 본 논문은 PWM 벅 컨버터의 응답시간을 늘이기 위한 여러 가지 빠른 과도응답 기술들의 동작 방식과 이들 방법이 갖고 있는 장점, 한계점들을 소개한다.

*Key words* : Buck Converter, Fast transient, Reference tracking, PWM, compensation

## 1. 서론

\* College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

★ Corresponding author: bskong@skku.edu

※ Acknowledgement: This work was partly supported by the IT R&D Program of MOTIE/KEIT [10052653, Development of processing in memory architecture and parallel processing for data bounding application], and by Samsung Electronics

Manuscript received Mar 17, 2016; accepted Mar 24, 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.

최근 IoT 시대에 맞춰, 휴대용 배터리 구동방식 전자기기들의 사용이 점점 보편화되고 있다. 이들의 배터리 사용시간을 최대한 늘이기 위해 고효율 전원장치로 스위칭 모드 전원장치(SMPS)가 많이 채택되고 있으며, 보편적인 예로는 주파수가 일정하여 EMI 노이즈가 적은 PWM 방식의 벅 컨버터가 있다. 이런 전원장치들은 배터리 소모를 줄이기 위해 부하 전류를 적게 사용하는 대기모드와 크게 쓰는 일반모드를 나누어 사용하며 [1], 동적 전압 조절을 이용하여 모드에 따라서 전압을 바꿔서 사용하는 기술 또한 요구하고 있

다. 이에 따라 부하 전류와 기준전압의 변화에 따른 빠른 과도응답의 중요성이 점점 강조되고 있다. 특히 PWM 방식 벽 컨버터에서 주로 사용

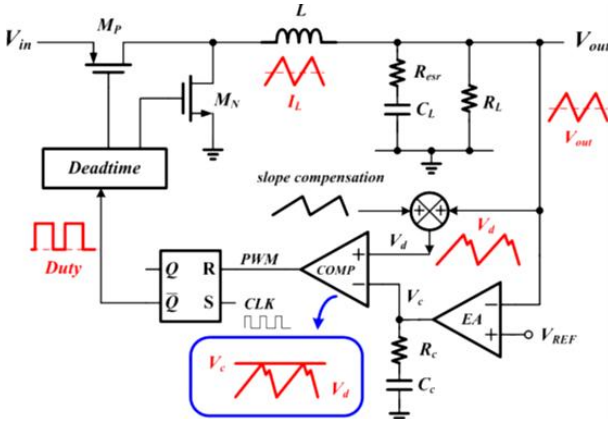


Fig. 1. PWM buck converter with  $V^2$  Control [3]

하는 오차 보상기의 큰 커패시터 때문에 슬루율이 낮아 과도응답이 발생하였을 때, 큰 오버슈트와 언더슈트가 발생하게 된다. 따라서 이 문제를 해결하기 위한 대표적인 기술들과 기술들의 장점과 한계점들을 본문에서 소개하도록 한다.

## II. 본론

### 1. 빠른 부하전류 과도응답 기술

가. 의사 연속 전도 모드 컨트롤

인덕터 전류가 클 때, PWM 벽 컨버터는 연속 전도 모드를 이용하여 리플의 크기를 줄인다. 그러나 불연속 전도 모드에 비해 극점이 1개가 더 존재하여 대역폭이 낮은 단점이 있다 [2].

높은 전류에서 불연속 전도 모드를 이용하는 것은 리플 부담이 있기 때문에 인덕터와 병렬로 프리윌 스위치를 연결하여 의사 연속 전도 모드로 동작하게 함으로써 불연속 전도 모드와 유사하게 1차 시스템을 만들어 대역폭을 넓게 한다. 그러나 추가 스위치를 이용하기 때문에 전도 손실이 발생하여 효율을 줄어뜨리게 하는 단점이 있다.

나.  $V^2$  컨트롤

Fig. 1은  $V^2$  컨트롤을 이용한 PWM 벽 컨버터의 블록 다이어그램이다. PWM 벽 컨버터 부하

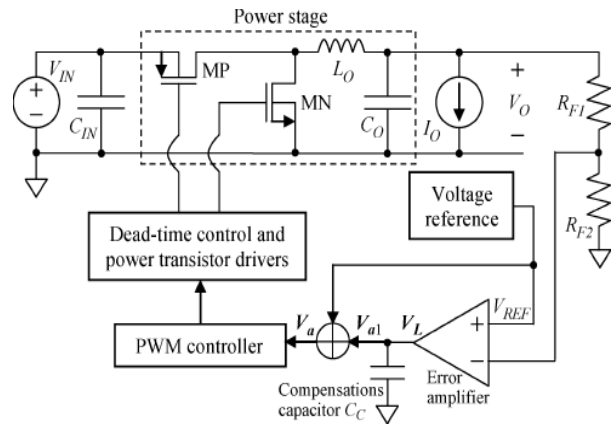


Fig. 2. PWM buck converter with end-point prediction circuit [7]

커패시터의 ESR에 걸리는 전압을 이용하여, 인덕터 전류의 변화를 모방한다 [3]-[5]. 이 모방된 전압은 3형 오차 보상기와 독립적으로 벽 컨버터의 램프에 더해지기 때문에 과도응답 시 빠르게 동작할 수 있다. 그러나  $V^2$  컨트롤은 전류 모드와 유사하기 때문에 저주파 발진현상의 영향을 고려해야 하고, 불연속 전도 모드 동작에서 인덕터 전류를 제대로 모방하지 못하는 단점이 있다.

다. 이중 모드 컨트롤

이중 모드 컨트롤은 부하전류가 갑작스럽게 변할 때 일어나는 부하 전압의 변화 정도를 비교기를 이용하여 벽 컨버터의 과도응답상태 동작과 정상상태 동작을 구분한다 [6]. 이 과도응답 시간 동안 0% 혹은 100% PWM 듀티를 제공하여 인덕터 전류를 빠르게 목표전류까지 도달할 수 있도록 도와주는 기술이다. 그러나 부하 전압을 이용하여 과도응답 상태를 구분하기 때문에 기준전압의 변화에는 대응할 수 없으며, 과도응답 상태를 구분하기 위해 큰 오버슈트와 언더슈트의 발생을 감수해야만 한다.

### 2. 빠른 기준전압 과도응답 기술

빠른 기준전압 과도응답 기술의 하나인 중점 예측 기법을 이용한 PWM 벽 컨버터의 블록 다이어그램이 Fig. 2에 나타나 있다 [7]-[9]. 중점 예측 기법은 기준전압이 변할 때, 오차보상기의 출력노드에 기준전압의 변화량을 직접 더해줌으로써 과도응답시간이 줄어들게 한다. 그러나 과도

응답 초기에는 이 영향이 크나, 시간이 지날수록 응답속도가 느려지는 단점이 있다.

### 3. 빠른 부하전류 및 기준전압 과도응답 기술

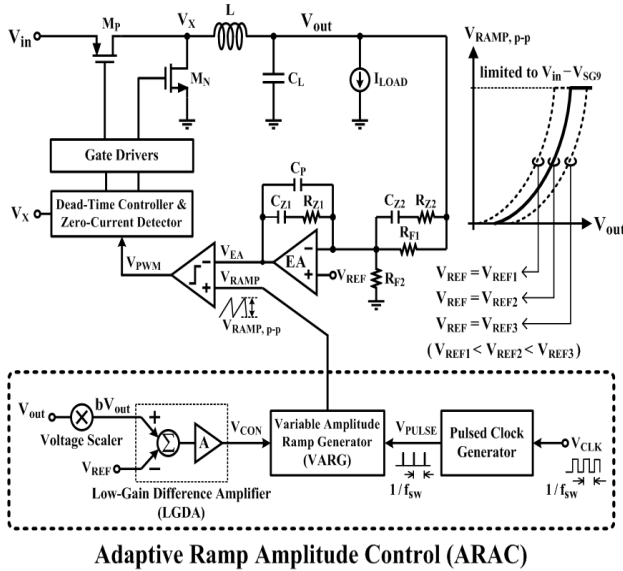


Fig. 3. PWM buck converter with adaptive ramp amplitude control [10]

부하전류 및 기준전압의 변화에 대하여 빠른 과도응답을 얻기 위한 기술로는 기존에 나와 있는  $V^2$  컨트럴 기법과 종점예측 기법을 함께 사용하여 PWM 벡 컨버터의 기준 전압 뿐만 아니라 부하 전류의 과도응답까지 개선시킬 수 있다 [8].

하지만, 좀 더 향상된 성능을 얻기 위해서는 적응 램프 컨트럴 방법을 사용할 수 있는데 [10], [11], Fig. 3는 기준 전압 컨트럴을 이용한 PWM 벡 컨버터의 블록 다이어그램을 나타내고 있다. 적응 램프 컨트럴은 부하 전압의 변화량을 직접 인식하여 저이득 증폭기와 연결된 램프생성기를 통해 램프의 진폭을 크게 변화시켜 이중모드 컨트럴과 다르게 선형적으로 PWM 듀티를 변화시킨다 [10]. 따라서, 부하전류의 과도응답뿐만 아니라 기준전압의 변화에도 대응할 수 있는 장점이 있다.

### III 결론

본 논문은 PWM 벡 컨버터의 부하 전류와 기준 전압 변화의 빠른 과도응답에 대한 기술들을 소개하였다. 빠른 부하전류 과도응답 방식으로는

추가 스위치를 사용하여 의사 연속 전도 모드 방식을 구현함으로써 과도응답에서 대역폭을 넓히는 방법, 인덕터 전류를 모방하는 전압을 램프에 더해줘 보상하는  $V^2$  컨트럴 방법, 부하전압의 크기 변화를 비교하여 과도상태와 정상상태를 구분하여 비선형적으로 최소/최대 듀티를 갖는 PWM 신호를 전달하는 이중 모드 컨트럴 방법을 소개하였다. 동적 전압 조절을 위해 기준전압이 바뀌는 상황에서 부하 전압을 빠르게 응답시키기 위해 기준전압을 보상기의 출력에 더해주는 종점예측 기법과, 2가지 과도응답을 모두 만족시키는  $V^2$  컨트럴 기법과 종점예측 기법을 혼용하는 기술, 벡 컨버터 램프의 크기조절을 이용한 적응 램프 컨트럴 기술에 대해 알아보았다.

### References

- [1] H.-W. Huang, K. H. Chen, and S. Y. Kuo, "Dithering skip modulation, width and dead time controllers in highly efficient dc-dc converters for system-on-chip applications", *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 42, no. 11, pp. 2451-2465, Nov. 2007.
- [2] D. Ma and W. H. Ki, "Fast-transient PCCM switching converter with freewheel switching control", *IEEE Trans. Circuits Syst. II, Exp. Briefs*, vol. 54, no. 9, pp. 825-829, Sep. 2007.
- [3] Y.-H. Lee, S.-J. Wang, and K.-H. Chen, "Quadratic differential and integration technique in  $V^2$  control buck converter with small ESR capacitor," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 25, No. 4, pp. 829-838, Apr. 2010.
- [4] C. H. Tsai, S. M. Lin and C. S. Huang, "A Fast-Transient Quasi- $V^2$  Switching Buck Regulator Using AOT Control With a Load Current Correction (LCC) Technique", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, No. 8, pp. 3949-3957, Aug. 2013.
- [5] S. Tian, F. C. Lee, Q. Li and Y. Yan, "Unified Equivalent Circuit Model and Optimal Design of  $V^2$  Controlled Buck Converters", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 31, No. 2, pp. 1734-1744, Feb. 2016.

- [6] P.-J. Liu, W.-S. Ye, J.-N. Tai, H.-S. Chen, J.-H. Chen, and Y.-J. E. Chen, "A high-efficiency CMOS dc-dc converter with 9- $\mu$ s transient recovery time", *IEEE Trans. Circuits and Syst. I, Regular Papers*, vol. 59, no. 3, pp. 575-583, Mar. 2012.
- [7] M. Siu, P. K. T. Mok, K. N. Leung, Y.-H. Lam, and W.-H. Ki, "A voltage mode PWM buck regulator with end-point prediction," *IEEE Trans. Circuits Syst. II, Exp. Briefs*, vol. 53, no. 4, pp. 294-298, Apr. 2006
- [8] Y. Y. Mai and P. K. T. Mok, "A constant frequency output-ripple-voltage based buck converter without using large ESR capacitor", *IEEE Trans. Circuits Syst. II, Exp. Briefs*, vol. 55, no. 8, pp. 748-752, Aug. 2008
- [9] L. Cheng, Y. Liu, and W. H. Ki, "A 10/30 MHz Fast Reference-Tracking Buck Converter With DDA-Based Type-III Compensator", *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 49, no. 12, pp. 2788-2799, Dec. 2014.
- [10] J.-S. Chang, H.-S. Oh, Y.-H. Jun, and B.-S. Kong, "Fast output voltage regulated PWM buck converter with an adaptive ramp amplitude control", *IEEE Trans. Circuits Syst. II Express Briefs*, vol. 60, no. 10, pp. 712-716, Oct. 2013.
- [11] Y.-S. Hwang, A. Liu, Y.-B. Chang, and J. J. Chen, "A High-Efficiency Fast-Transient-Response Buck Converter with Analog-Voltage-Dynamic-Estimation Techniques", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 30, No. 7, pp. 3720-3730, Jul. 2015.

---

**BIOGRAPHY**


---

**Jin-min Seok** (Student Member)

2015: BS degree in Semiconductor Systems Engineering, Sungkyunkwan University.

2015~Current: pursuing the MS degree in the Semiconductor Display Engineering, Sungkyunkwan University

**Jung-Duk Suh** (Student Member)

2013: BS degree in Electronics and Radio Engineering, Kyung Hee University.

2013~Current: pursuing the MS-PhD degree in the Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University

**Bai-Sun Kong** (Member)

1996: PhD degree in Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology.

Currently, Professor at Sungkyunkwan University