

자동차용 고출력 전압모드 벅컨버터 IC

A High-power Voltage Mode Buck Converter IC for Automotive Applications

박현일¹, 박시홍^{1,a}
(Hyeonil Park¹ and Shihong Park^{1,a})

Abstract

This paper presents a step-down converter IC for automotive applications. This device was designed for a 40 V/1 A high-power output for voltage reference of automotive IC. It provides 250 kHz PWM (pulse width modulation) and PFM(pulse frequency modulation) according to load conditions. This device was simulated spectre of IC-design-tools and fabricated Dong-bu Hitec 0.35 um BD350BA process.

Key Words : Buck converter, Automotive IC, Step-down converter

1. 서론

자동차의 성능 개선과 안정성 및 편의성 향상을 위해 전자 제어 장치가 도입된 이래 자동차용 반도체시장의 크기가 1995년 이후 15년여 동안 4.25 배 이상 커지고 총 액수는 2009년 예상 5100억 US\$로 자동차 산업에서 이 분야의 중요성이 커지고 있는 추세이다[1,2]. 향후 시장의 요구에 따라 첨단화 되어가고 있는 자동차 산업추세를 고려하면 반도체가 차지하는 비율은 더욱 늘어날 것으로 판단된다. 이러한 반도체들은 자동차에 장착되는 특수상황에 따르는 외부조건에 의해 배터리 전압이 흔들리는 상황에서도 효율적으로 고정된 전압을 공급해야 하고, 차량에 탑재되기 위해 소형화 되어야 하며, Input voltage 5 V ~ 40 V, Temperature -40 °C ~ 150 °C 이상의 넓은 동작범위를 가지고 있어야 한다[3].

본 논문은 이러한 특수 상황에서도 안정적으로 동작 할 수 있도록 설계된 Voltage mode control 방식의 Buck converter IC를 보여준다. 제작 및 검토된 Buck converter IC는 Cadence사의 IC-

design-tools를 사용하여 설계 하였으며, 동부 하이텍의 0.35 um BD350BA 공정을 사용하였다. 제작된 IC의 면적은 2170×2930 um² 이며 실험을 통해 검증하였다.

2. 본론

2.1 Buck converter의 개념 및 동작

그림 1은 buck converter의 어플리케이션 회로도이다. 외부에 구성된 회로를 거쳐 switching 동작을 통해 다른 automotive IC에 안정적인 전원을 공급한다.

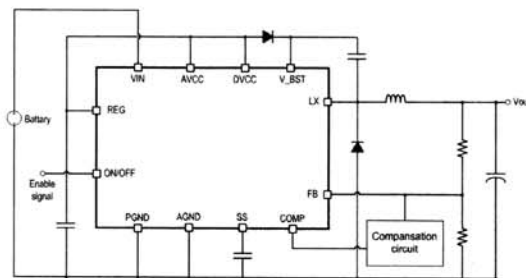


그림 1. Buck 컨버터의 어플리케이션 회로도.
Fig. 1. Application circuit diagram of buck converter.

1. 단국대학교 반도체디스플레이학과
(경기도 용인시 수지구 죽전동 126)
a. Corresponding Author : shihong@dku.edu
접수일자 : 2009. 6. 12
심사완료 : 2009. 6. 23

2.2 Buck converter 의 특성 및 동작

Automotive IC의 특성상 battery voltage level 은 통상 12 V이지만, 여러 조건에 따라 변화한다. 이러한 약조건 속에서 converter는 안정적인 출력을 제공해야 하며, 또한 한정적인 전원을 가지고 구동하게 되므로 효율이 좋아야 한다. 제작된 buck converter는 LDO(Low DropOut)의 출력으로 IC 전체를 구동하도록 설계되어 6 V까지 battery voltage가 떨어졌을 경우에도 정상적인 출력을 낼 수 있으며, enable 신호가 OFF일 경우 발생하는 shutdown current가 252.4 uA로 전력소모가 작다. 그리고 feedback 저항을 변경하여 출력전압을 변경할 수 있기 때문에 다양한 어플리케이션에서 모두 사용 가능하도록 설계되어 있다.

2.3 Buck converter 의 구성

제작된 IC는 크게 회로를 구동하는 LDO와 regulator 블록, 회로의 동작여부를 결정하는 On/Off controller 블록, feedback을 받아 switching 여부를 결정하는 control logic, PWM controller, output controller블록, current를 sensing하여 위험 상황이 발생했을 때 출력을 제한하여 IC를 보호하도록 하는 신호를 control logic블록으로 넘겨주는 current controller 블록으로 나눌 수 있다. 그 외 회로의 안정성을 위한 soft-start블록과 스위칭을 위한 oscillator 블록이 존재한다.

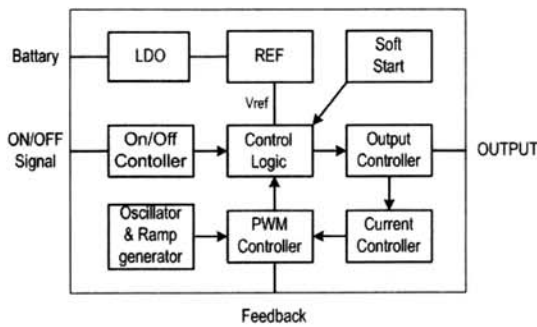


그림 2. Buck 컨버터의 블록 다이어그램.
Fig. 2. Block diagram of buck converter.

2.3.1 LDO and voltage reference blocks

5 V, 20 mA의 전원을 IC 내부 시스템 구동을 위해 공급하며 온도에 둔감한 bandgap voltage를 사용하여 buck converter를 안정적으로 동작시킬 수 있다.

2.3.2 On/Off controller block and oscillator

외부의 디지털 신호를 받아 회로를 On/Off 시키는 external UVLO(Undervoltage Lockout)와 IC 내부적으로 4 V가 확보되지 않았을 때 회로를 shutdown 시키는 internal UVLO, 160 °C이상의 온도에서 shutdown 시키고 25 °C가 되었을 때 다시 구동하게 하는 thermal shutdown 기능이 있다. 그리고 고정된 250 kHz의 주파수를 가지는 oscillator와 Feed-forward방식을 사용하기 위해 peak 전압이 입력전압의 1/10로 가변되는 ramp파를 만들어 주는 ramp generator가 있다[4].

2.3.3 Feedback and PWM controller blocks

Load가 없을 경우 동작하는 PFM블록, 외부 compensation 회로를 통하여 feedback받아 에러를 검출하는 86 dB의 gain을 가진 error amplifier와 On/Off 타임을 결정하는 PWM comparator, 다른 모든 신호들을 종합하여 출력 switching을 결정하는 control logic과 실제 출력을 내보내는 gate driver블록 및 power MOSFET으로 구성되어 있다. 스위치로 사용되는 high-side MOSFET의 on-저항은 0.3 Ω, bootstrap 충전 pass를 형성해주는 low-side MOSFET의 on-저항은 17 Ω이다.

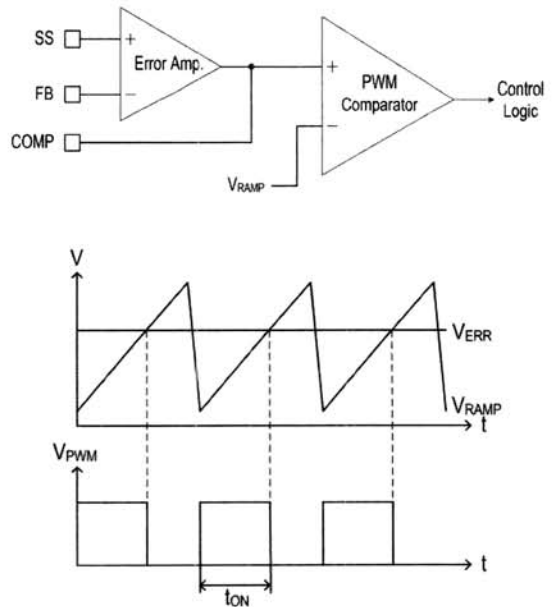


그림 3. Error amp와 PWM comparator의 파형.
Fig. 3. The waveforms of Error amp and PWM comparator.

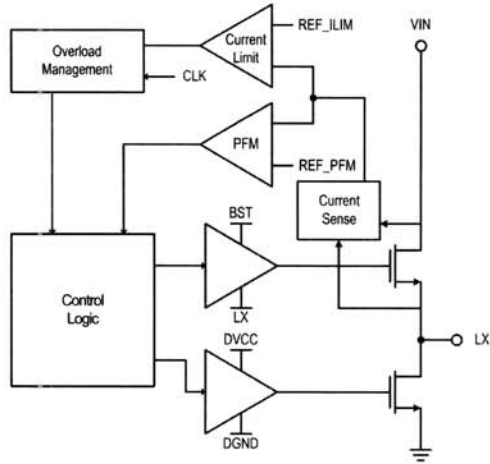


그림 4. 전류 측정 및 보호회로 루프.
Fig. 4. Current sensing and protection circuit.

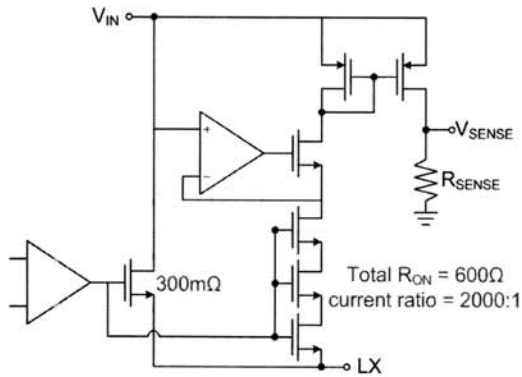


그림 5. 전류 측정 블록의 내부 회로도.
Fig. 5. An internal circuit of current sensing.

2.3.4 Current sensing and protection

Current의 양을 sensing하여 1:1 비율을 가지고 전압으로 바꾸어 나타내주는 current sensing블록과 2 A이상의 peak current가 8 pulse 이상 발생했을 때 overcurrent로 인식하여 512 pulse 동안 스위칭을 멈추는 Hiccup-mode 동작의 overload management블록[5], start-up시 출력의 급격한 상승을 막아주는 soft-start 블록이 있다.

3. 실험 결과 및 고찰

그림 6은 실험에 사용된 IC의 layout과 PCB기판을 보여주고 있다. IC의 size는 $2170 \times 2930 \text{ } \mu\text{m}^2$,

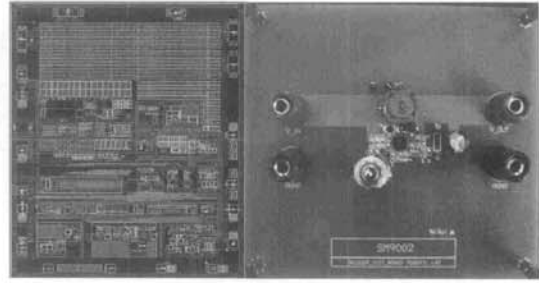


그림 6. 제작된 IC의 layout 및 PCB 사진.
Fig. 6. A photograph of IC layout and PCB.

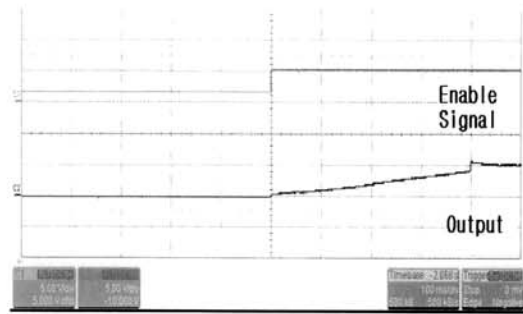


그림 7. Enable signal에 의한 soft-start 실험결과.
Fig. 7. The test result of soft-start function.

packaging은 QFN 28LD $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ 이며 PCB는 $11.5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 이다.

그림 7에서 보이듯이 시스템에 enable-signal이 인가되면 soft-start 블록이 동작하면서, 목표 전압인 5 V 까지 400 ms동안 천천히 상승함을 알 수 있다. 상승시간은 외부의 capacitor에 의해 결정되므로 사용 환경에 따라 변경이 가능하다.

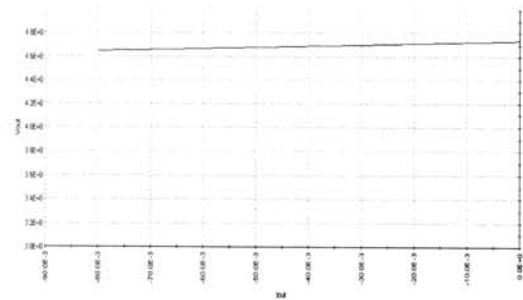


그림 8. LDO line regulation 실험결과.
Fig. 8. The test result of line regulation.

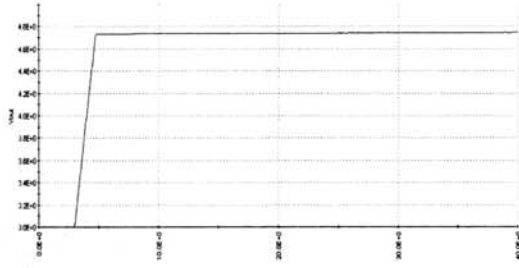


그림 9. LDO load regulation 실험결과.
Fig. 9. The test result of load regulation.

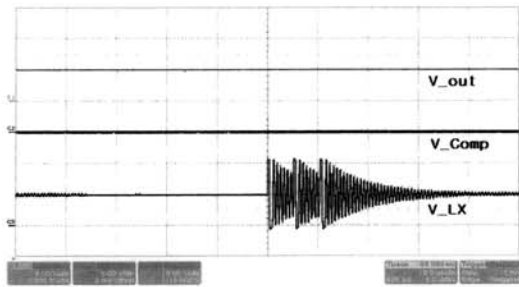


그림 10. PFM-mode 실험결과.
Fig. 10. The measured waveforms of PFM-mode.

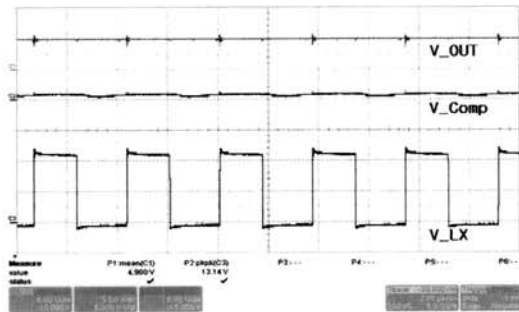


그림 11. Buck-converter 실험결과.
Fig. 11. The measured waveforms of buck-converter.

그림 8과 9는 LDO의 line, load regulation을 나타낸 것이다. line regulation은 1 mV/mA, load regulation은 4 mV/V이며, 95 mA까지 공급하는 것을 실험결과 확인 하였다.

그림 10은 부하가 없을시 소모전력 감소를 위한 PFM-mode 동작과형을 나타낸다. 부하가 100 mA

이하 일 때 3 pulse 이후 15 pulse를 skip하게 된다. 그림 11은 부하가 존재할 때의 정상 switching 파형을 보여주고 있다. 입력전압 12 V시 출력전압이 5 V로 전압 레벨이 조정되어 있으며, 외부의 feedback 저항을 변경하여 출력전압을 변경할 수 있다. 사용 가능 출력 범위는 1.23 V~32 V이다.

4. 결론

본 논문에서는 자동차에 장착되는 automotive IC의 특징을 고려하여 5 V~40 V의 넓은 입력범위를 가지고 발생 가능한 여러 악조건들 가운데서도 안정적인 출력을 보여주는 buck converter IC를 설계 및 제작하고 실험하여 검증하였다. 실험은 제작된 buck converter IC가 다른 automotive IC의 voltage source로 충분히 동작함을 보여주었다. 이후 연구로써 IC 소모전력 감소로 인한 효율의 개선과 보다 안정적인 출력을 낼 수 있도록 개량하는 것이 필요하겠다.

감사의 글

본 연구는 단국대학교의 연구비 지원을 받아 수행한 것입니다.

참고 문헌

- [1] R. Ploss, A. Mueller, and P. Leteinturier, "Solving Automotive Challenges with Electronics", VLSI-TSA Symposium, 2008.
- [2] M.-L. Sham, Z. Gao, L. L.-W. Leung, Y.-C. Chen, and T. Chung, "Advanced Packaging Technologies for Automotive Electronics", ICEPT 2007. 8th International Conference on.
- [3] D. P. Laude, "IC Design Considerations for the Harsh Automotive Electrical Environment", IEEE Custom Intergrated Circuits Conference, 1994.
- [4] Calderoni, L., Pinola, L., and Varoli, V., "Optimal Feed-forward Compensation for PWM DC/DC Converters", Power Electronics Specialists Conference, 1990. PESC '90 Record., 21st Annual IEEE.
- [5] "Hiccup-mode Current Limiting", LinFinity Application Note AN-8, Maxim.