

논문 2010-471E-3-3

휴대용 멀티기기를 위한 PFM방식의 승압형 DC-DC 변환기

(PFM-Mode Boost DC-DC Converter for Mobile Multimedia Application)

김 지 만*, 박 용 수**, 송 한 정***

(Jiman Kim, Yongsu Park, and Hanjung Song)

요 약

본 논문은 휴대용 배터리 구동시스템을 위한 다양한 출력전압(5-7V,100mA)을 가지는 CMOS DC-DC 변환기를 제안한다. 제안하는 DC-DC 변환기는 Pulse-Frequency Modulation (PFM) 방식을 사용하였고, 기준전압회로, 피드백 저항, 컨트롤러, 내부 파형발생기를 사용하였다. 2개의 외부 수동 소자들 (L,C)을 가진 집적화된 DC-DC 변환기는 0.5um 2-poly 4-metal CMOS 공정에서 설계 되었고 PDA, 휴대폰, 노트북 등에 적용 가능하다.

Abstract

In this paper, we describe a CMOS DC-DC converter with a variable output voltage(5-7V @100mA) for a portable battery-operated system applications. The proposed DC-DC converter is used along with a Pulse-Frequency Modulation (PFM) method and consists of reference circuit, a feedback resistor, a controller, and an internal oscillator. The integrated DC-DC converter with two external passive components(L,C) has been designed and fabricated on a 0.5um 2-poly 3-metal CMOS process and could be applied to the Personal Digital Assistants(PDA), cellular Phone, Laptop Computer, etc.

Keywords : DC-DC Converter, Boost, PFM

I. 서 론

최근 공정 기술의 발달로 인하여 과거 5V이상의 전원 전압에서 동작이 이루어지던 칩들이 3.3V 또는 그 이하의 전원전압에서도 동작이 가능하게 되었다. 이에 저전압과 고전압의 구동전원을 사용하는 시스템을 하나의 칩으로 구현하기 위해서 여러 개의 전원전압을 발생시킬 수 있는 전력변환기를 칩 내부에 적용하는 것이 불가피하게 되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해

DC-DC 변환기를 제안한다. DC-DC 변환기는 임의의 직류전원을 부하가 요구하는 형태의 직류전원으로 변환시키는 전력변환기로서 3.7V의 입력전원으로 시스템에서 요구하는 구동전원을 가변적으로 출력할 수 있도록 한다. 출력전원의 조절은 외부 피드백 저항과 내부 비교기에 의하여 가능하다. 이러한 DC-DC 변환기에는 크게 Pulse-Width Modulation(PWM) 방식을 이용한 방법과 Pulse-Frequency Modulation(PFM) 방법으로 분류 할 수 있다.^[1] 대용량 전류 드라이빙 능력을 필요로 하는 시스템에는 주로 PWM 방법을 사용하며, 소형 저전압, 저전력 소모가 요구되는 시스템에서는 주로 PFM 방법이 사용된다. 최근에는 넓은 범위의 출력 전류를 구동하기 위해 제어 칩 내부에 PWM과 PFM의 두 가지 방식을 선택 할 수 있도록 설계한 제품도 출시되고 있다. 설계된 DC-DC 변환기는 휴대용 배터리 전원을 사용하는 PDA (Personal Digital Assistants), 셀

* 학생회원, *** 정회원-교신저자, 인제대학교 나노시스템공학과

(Department of Nano System Eng, Inje University)

** 정회원, 충청대학 전기전자공학부

(Department of Electrionics, Chung Cheong University)

* 본 논문은 IDEC (IC Design Education Center)의 CAD TOOL 지원으로 이루어졌습니다.

접수일자: 2010년5월11일, 수정완료일: 2010년8월31일

물리폰, 랩탑 컴퓨터, 카메라 레코더 등 저전력, 소형시스템의 패 널 드라이버 IC에 광범위하게 사용되는 5V-8V의 출력 전압을 얻을 수 있는 DC-DC 변환기를 설계하였다.

II. 본 론

PFM 구동 방식은 간단히 말해 스위칭 소자의 게이트에 입력되는 파형의 주파수를 조절하여 원하는 출력 전압과 부하 전류를 제어 하는 방법이다.^[2]

그림 1은 PFM 구동방식을 보여준다. 이 구동 방식은 V_g 의 주파수를 이용하여 출력 전압을 감지하여 V_L 이하로 떨어지게 되면 V_g 가 위의 파형과 같이 주파수가 발진하여 출력단의 전압을 승압하게 되면 V_H 전압 이상이 되면 위의 파형과 같이 V_g 가 0이 되어 동작을 멈추게 된다.^[3] PFM 방식은 그 구조가 매우 단순 하고, 100mA 이하의 부하 전류에서는 좋은 효율을 보이지만 그 이상의 전류에서는 PWM 보다 효율이 떨어지는 단점이 있다. 그리고 주파수를 이용하기 때문에 EMI에 대한 영향에도 취약하다.^[4]

본 논문에서는 저전압의 공급전압으로부터 가변적인 전원을 공급할 수 있는 컨버터를 보이기 위해 기준전압 발생기, 오실레이터, 컨트롤러 등으로 구성되어 M1을 on/off 시키면서 부스팅하는 전류모드 충전방식이 사용되는 DC-DC 컨버터를 제안한다.

그림 2에 3.7V의 공급전압으로부터 5V-8V의 가변적인 전원을 공급할 수 있는 DC-DC 컨버터의 구조가 나타나 있다. 이 구조에서는 그림 2에 보듯이 M1을 on/off 시키면서 부스팅 하는 전류모드 충전방식이 사

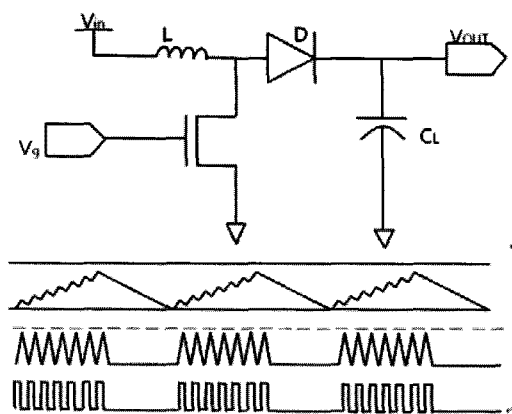


그림 1. PFM 구동방식의 부스트 변환기
Fig. 1. PFM mode boost converter.

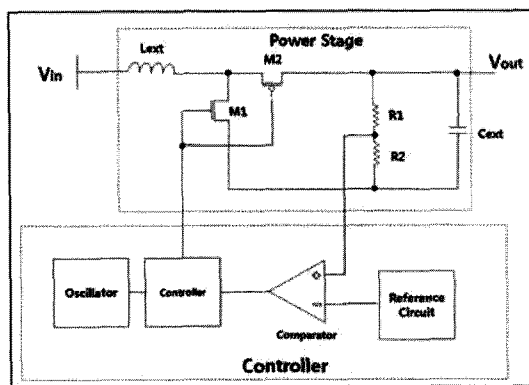


그림 2. 제안하는 DC-DC 변환기 블록도
Fig. 2. Proposed DC-DC converter block.

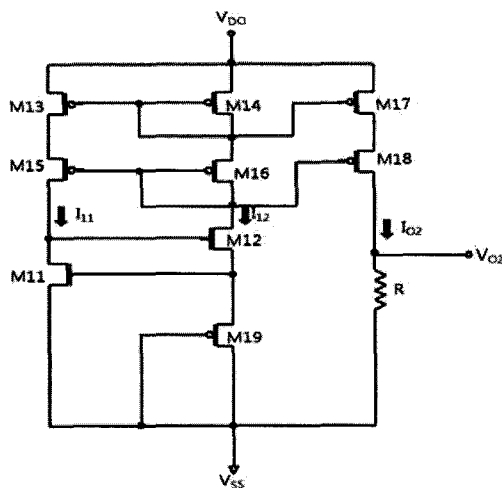


그림 3. 기준전압 발생회로
Fig. 3. Reference Circuit.

용되었다. 그리고 구동원리를 살펴보면 스위치 M1이 오랫동안 off 되어 있다고 가정하면 출력전압 V_{out} 은 V_{dd} 에 머물러 있게 되고 그 이후 M1이 turn-on 되면 L_{ext} 로부터 C_{ext} 에 전하가 충전되고, V_{out} 은 순간적으로 V_{dd} 보다 높은 전위를 갖게 된다. 이때 다이오드 M2는 C_{ext} 로부터 전하가 방전되는 것을 막아 출력단의 전위를 유지할 수 있게 해준다. 이와 같은 과정으로 L_{ext} 에 저장되었던 에너지가 출력 단의 C_{ext} 로 전달된다.^[5]

설계된 기준전압 발생회로를 그림 3에 나타내었다. 제안된 기준전압 발생 회로는 서로 같은 제1전류 및 제2전류를 생성하기 위한 PMOS 캐스코드 전류원과 능동 캐스코드 전류원, 그리고 이 PMOS 캐스코드 전류원과 전류미러를 형성하여 출력단에 제1 및 제2전류와 동일한 출력 전류를 생성하기 위한 출력 트랜지스터부로 구성되어있으며,^[6] 출력단과 접지 전압단 사이에 접속된 부하저항을 포함한다.

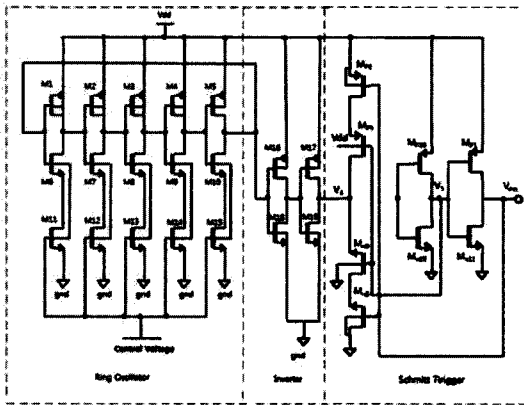


그림 4. 전압제어방식의 오실레이터 회로
Fig. 4. Voltage mode oscillator circuit.

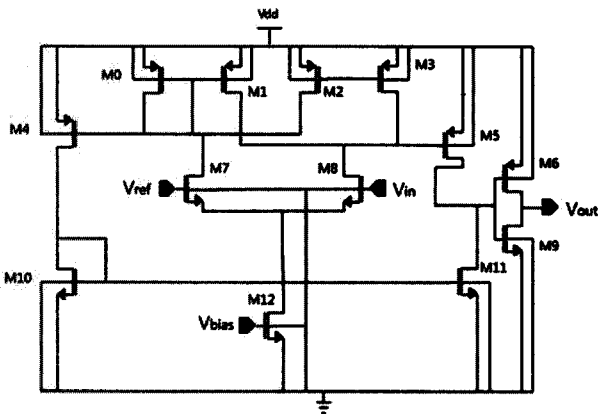


그림 5. 히스테리시스 비교기 회로
Fig. 5. Hysteresis comparator circuit.

제안된 클럭 발생기는 링 오실레이터, transition-sharpening 인버터, 그리고 슈미트트리거로 구성되어 있다. 링 오실레이터의 출력(VOSC)은 정현파이다. 이 정현파는 과도 가장자리를 깎아주기 위해 인버터를 거쳐지게 되고, 잡음에 의한 영향을 줄여주기 위해 히스테리시스를 갖는 슈미트트리거를 포함한다.^[7]

그림 5에 히스테리시스(hysteresis) 특성을 갖는 비교기를 나타내었다. DC-DC 변환기로부터 생성된 공급전압은 외부 부하의 변화나 구동 배터리의 전력량 감소 등에 의하여 일정한 값을 유지하기가 어렵다.^[8] 따라서 비교기에 RS-latch를 사용하여 히스테리시스 특성을 갖는 비교기를 설계함으로써 공급전원의 변화가 일정 범위 내에서는 디지털 단으로 전달되는 신호를 안정적 전달 할 수 있다. 즉, DC-DC 변환기에서 생성된 공급전원의 변화 폭에 대하여 0.25V의 범위 안에서는 독립적인 PG(Power-Good) 신호를 얻게 된다. 이 신호는 디지털 단으로 인가되어 DC-DC 변환기에 의해 만들어진 구동전원이 시스템에 사용 가능하다는 신

호를 알려준다.

컨트롤 블록은 비교기에서 피드백 된 전압과 오실레이터에서 생성된 전압이 인가되어 일정한 출력전압을 유지하기 위한 스위칭을 하기 위해 주파수를 변조하게 한다.^[9~10] 주파수 변조로 인하여 스위칭 속도가 바뀌어 출력전압을 안정하게 유지시켜준다.

III. 시뮬레이션 결과

그림 6은 오실레이터의 출력전압으로 링 오실레이터의 출력(VOSC)의 정현파는 인버터와 슈미트 트리거를 거쳐 구형파로 출력된다.

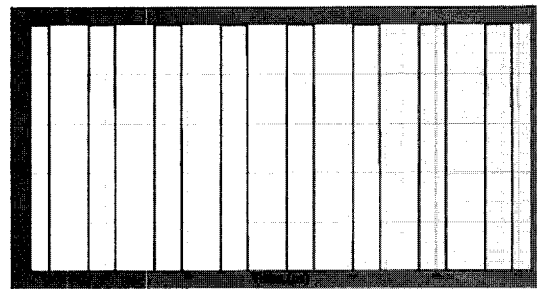


그림 6. DC-DC 변환기 오실레이터의 출력전압 SPICE 결과
Fig. 6. SPICE results of Oscillator output voltage.

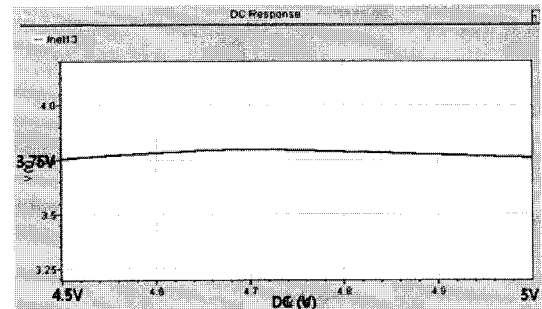


그림 7. 공급전압의 변화에 따른 출력의 정전압 특성
Fig. 7. Constant output voltage characteristic as variation of input voltage.

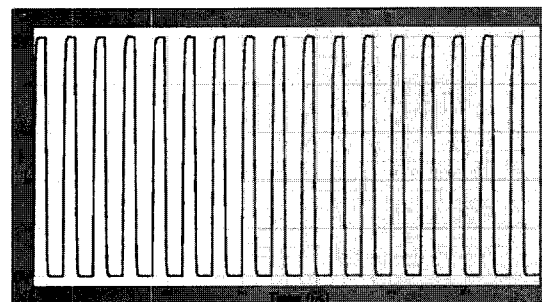


그림 8. DC-DC 변환기의 스위칭 펄스
Fig. 8. Switching pulse of DC-DC converter.

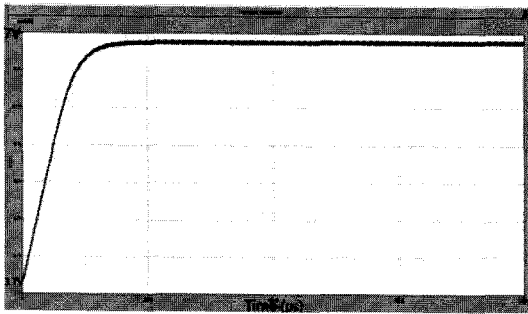


그림 9. DC-DC 변환기의 출력전압 SPICE 결과
Fig. 9. SPICE results of Output voltage.

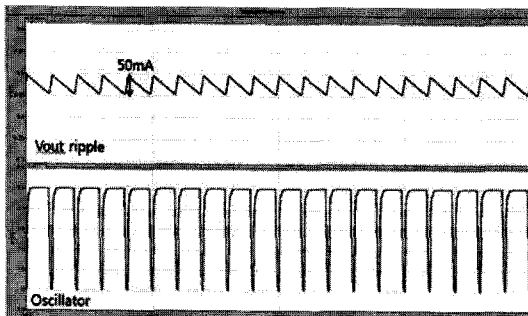


그림 10. DC-DC 변환기의 출력 리플 전압
Fig. 10. Output ripple voltage of DC-DC converter.

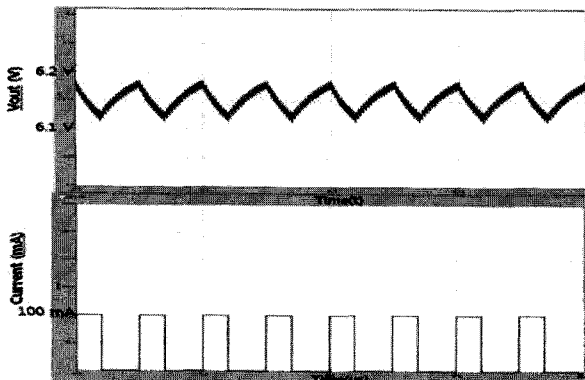


그림 11. DC-DC 변환기의 부하 레귤레이션
Fig. 11. Load Regulation of DC-DC converter.

그림 7은 기준전압회로의 공급전압의 변화에 따른 정전압 특성을 알아보았다. 그림 7과 같이 4.5V에서 5V 사이의 공급전압에선 거의 일정하게 정전압을 얻는 것을 알 수 있었다.

그림 9는 제안하는 전류모드 boost DC-DC 변환기의 출력 전압을 나타내고 있다. 출력 전압은 6.91 V가 출력되는 것을 확인 할 수 있었다.

그림 10은 그림 9의 출력을 확대한 모습이다. 출력 전압의 리플은 50mV가 측정 되었다.본 논문에서 제안 하는 승압형 DC-DC 변환기는 3.7V 입력전압에서 5V~8V의 출력전압을 얻을 수 있었고, 출력전압의 리

표 1. 제안하는 승압형 DC-DC 변환기 사양
Table 1. Proposed boost DC-DC converter spec.

Parameter	Typ	Unit
Process	KEC 0.5μm CMOS	-
Clock Freq	2	MHz
IL	100	mA
Supply voltage	3.7	V
Output voltage	5~8	V
Range		
Vout_ripple	50	mV
Light Load	55	mA
Reulation		
Efficiency	94	%

플은 약 50mV가 나타난 것을 알 수가 있었다. 그리고 그림 11에서는 부하전류가 변할 때 출력전압변화를 나타낸 것으로, 일정한 출력전압을 유지함을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 휴대용 멀티기기를 위한 승압형 DC-DC 변환기를 설계하였고 PFM방식을 사용하여 입력전압 3.7V에서 5~8V의 출력전압을 얻을 수 있었으며 출력리플전압은 약 50mV. 인덕터 전류는 100mA 가진다. 약 94%의 효율을 가지며 light load(>100mA)에서 약 55mV의 변화로 일정한 전압을 유지한다. 또한 출력전원의 조절은 외부 피드백 저항과 내부 비교기에 의하여 가능하게 설계 되었고 전지의 에너지원으로 하는 휴대기기에 적용될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

[1] P.L. Miribel-Catala, M.Puig-Vidal, J.S. Marti, P. Goyhenetche, X. Q. Nguyen, "An integrated digital PFM dc-dc boost converter for a power management application-a RGB backlight LED system driver," IEEE industrial Electronics Society, vol, 1, pp.37-42. Nov. 2002.

[2] 김희준, "스위치 모드 파워 서플라이", 성안당, 1993.

[3] B. Sahu and G. A. Rincon-Mora, "An accurate, low-voltage, CMOS switching power supply with adaptive on-time pulse-frequency modulation (PFM) control," IEEE Trans. Circuits Syst. I, Reg. Papers, vol. 54, no. 2, pp. 312 -

- 321, Feb. 2007.
- [4] F. L. Luo, "Six Self-Lift DC-DC Converters, Voltage Lift Technique", IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 48, pp. 1268-1272, Dec. 2001.
- [5] Richard Cushing "DDS(Directly Digital Synthesizer)" Analog Devices 1995.
- [6] J.A. Cobos, O. Garcia, J. Uceda, F. Aldana, , "Optimized Synchronous Rectification Stage for Low Output Voltage DC/DC Converter," IEEE Applied Power Electronics Conference (APEC94), 1994.
- [7] Shih-Chieh Liao, "Low current pulse-frequency modulation converter, cation stage for Low Output Voltage DC/DC Converter," M.S. thesis, Feng-Chia University, June, 2004.
- [8] T. R. Ying, W. H. Ki, M. C, "Area-Efficient CMOS Charge Pumps for LCD Drivers," IEEE Journal of Solid-State Circuit, Vol.38, No. 10, October 2003.
- [9] Robert W. Erickson, Dragan Maksimovic, Fundamentals of Power Electronics Second Edition, Kluwer Academic, 2002.
- [10] S. E. Lee, W. S. Oh. "Personal Communication System Hand-set with Organic Light Emitting Diode Display." Accepted on The 22nd International Display Research Conference, October. 2002.

 저 자 소 개



김 지 만(학생회원)
 대한전자공학회 논문지
 제46권 IE편 제4호 p.15 참조
 현재 인제대학교 나노시스템
 공학과 재학 중.
 <주관심분야 : 반도체, 회로설계,
 소자>



박 용 수(정회원)
 대한전자공학회 논문지
 제46권 IE편 제1호 p.22 참조
 현재 충청대학교 전기전자학부 부
 교수
 <주관심분야 : 반도체테스트 및
 회로설계>



송 한 정(정회원)-교신저자
 대한전자공학회 논문지
 제46권 IE편 제1호, p.22 참조
 현재 인제대학교 나노공학부
 부교수
 <주관심분야 : 반도체소자 신뢰성
 및 회로설계>