

데드 타임 제어를 이용한 웨어러블 AMOLED 디스플레이용 DC-DC 부스트 변환기

DC-DC Boost Converter Using Dead Time Controller for Wearable AMOLED Display

김 찬 유*, 김 태 운*, 최 호 용*★

Chan-You Kim*, Tae-Un Kim*, Ho-Yong Choi*★

Abstract

This paper proposes a DC-DC boost converter for wearable AMOLED display using dead time controller to reduce dead time and improve power efficiency. Also the DC-DC boost converter adopts PWM-SPWM (set-time variable pulse width modulation) dual-mode to enhance power efficiency under light load and decrease output voltage ripple. The proposed circuit has been designed using 0.18 μm BCDMOS process. Simulation results show that the circuit has power efficiency of 39%~96% and output ripple voltage of 2 mV under load current range of 1 mA~70 mA. The power efficiency of the proposed circuit is up to 2% higher than the previous PWM-SPWM method and up to 8% higher than only PWM method.

요 약

본 논문에서는 데드 타임을 줄여 전력 효율을 높이기 위해 데드 타임 제어를 이용한 웨어러블 AMOLED 디스플레이용 DC-DC 부스트 변환기를 제안한다. 또한, 본 변환기에서는 경부하에서 전력 효율을 높이고 출력 전압 리플을 감소시키기 위해 PWM-SPWM (set-time variable pulse width modulation) 듀얼 모드를 이용한다. 제안하는 회로는 0.18 μm BCDMOS 공정을 이용하여 시뮬레이션을 한 결과 1 mA~70 mA의 부하 전류 범위에서 39%~96%의 전력 효율과 2 mV의 리플 전압을 가졌다. 본 회로의 전력 효율은 PWM-SPWM 방식보다 최대 2% 상승하였고, PWM 방식보다 최대 8% 상승하였다.

Key words : AMOLED, boost converter, PWM, PWM-SPWM, dead time

* School of Electrical and Computer Engineering & The
Research Institute for Computer and Information
Communication, Chungbuk National University

★ Corresponding author

E-Mail : hychoi@cbnu.ac.kr, Tel : +82-43-261-3231

※ Acknowledgment

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2018R1D1A1B07046871) and the KIAT grant funded by the Korea government MOTIE (No. 0001883).

Manuscript received Sep. 5, 2019; revised Sep. 27, 2019; accepted Sep. 27, 2019.

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.

1. 서론

AMOLED (active matrix organic light emitting diodes)는 광 시야각, 명암비, 인지 휘도, 시인성 및 경량의 장점으로 웨어러블 기기들에 널리 응용되고 있다[1-2].

AMOLED 디스플레이의 패널은 양의 전압 V_{POS} 와 음의 전압 V_{NEG} 가 필요로 하고 이 두 전압의 전압 차는 디스플레이의 밝기에 영향을 주므로 정확한 전압이 요구된다.

또한, 모바일 기기의 전력소모는 디스플레이 패널이 많이 차지하므로 모바일기기의 긴 사용시간을 위해서는 패널의 전원 전압을 생성하는 DC-DC 변환기의 전력 효율이 중요하다[3].

경부하에서의 효율을 제고하기 위해 PWM 방식 대신 PFM 또는 PSM(pulse skipping modulation)-PWM 방식을 사용하는 듀얼 모드 변환기가 제안되었다[4-5]. 그러나 PFM 방식은 회로가 복잡하고, PSM 방식은 출력 전압의 리플이 커 추가로 LDO가 필요하다.

한편, 전력 트랜지스터에서 shoot-through 전류와 body diode conduction에 의해 전력 손실이 야기된다. 이는 dead time에 의한 불필요한 손실이 발생되어 최적의 dead time 제어가 요구된다[6].

본 논문에서는 데드 타임 제어를 이용한 V_{POS} 용 DC-DC 부스트 변환기를 설계한다. 본 변환기는 효율을 높이기 위해 데드타임(dead-time) 제어를 사용하고 특히 경부하에서 효율을 제고하기 위해 PWM-SPWM 듀얼 모드를 사용한다.

II. V_{POS} 용 DTC를 이용한 부스트 변환기

본 장에서는 DTC(dead time controller)를 이용한 웨어러블 AMOLED 디스플레이용 DC-DC 부스트 변환기를 설계한다. 표 1은 제안하는 DC-DC 부스트 변환기의 주요 설계 명세를 나타낸다.

Table 1. Main specification of proposed DC-DC boost converter.
표 1. 제안하는 DC-DC 부스트 변환기의 주요 명세

Item	V_{POS}
Vin	2.9 V ~ 4.6 V
Vout	4.6 V
Load current	1 mA ~ 70 mA
Output voltage ripple	< 5 mV
Frequency	0.4MHz~ 1.4MHz
Efficiency	> 80%

그림 1은 제안하는 DC-DC 부스트 변환기의 블록도이다. 부스트 변환기는 인덕터 전류와 출력 전압을 피드백 받아 출력 전압을 일정하게 유지하는 CMC(current mode control) 방식으로 동작한다. 또한, PWM-SPWM 듀얼 모드를 이용하여 경부하에서 효율을 높이고 리플 전압을 낮추고, 데드 타임 제어를 이용하여 전부하에 걸쳐 효율을 향상시킨다.

가. PWM-SPWM 제어기를 이용한 듀얼 모드

SPWM 방식은 기본적으로 PWM 방식에 경부하

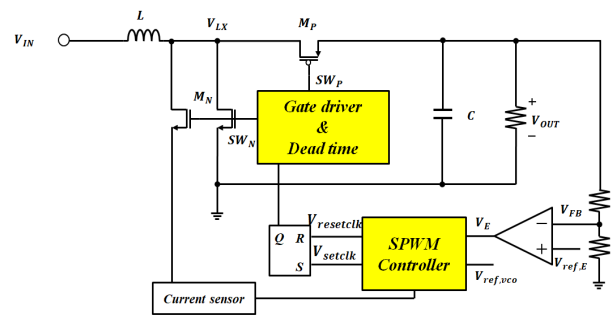


Fig. 1. Block diagram of proposed DC-DC boost converter.
그림 1. 제안하는 DC-DC 부스트 변환기 블록도

에서는 부하 전류에 따라 VCO를 이용하여, 부하 전류에 따라 스위칭 트랜지스터 구동을 위한 set signal의 set time을 가변함으로써 스위칭 주파수를 가변하는 방식을 접목한 dual-mode 방식이다. SPWM 방식은 그림 2과 같이 VCO와 모드 선택기를 이용한 PWM-SPWM 제어기로 구현된다. 듀얼 모드 전환 부하 전류 I_{MC} 이하의 경부하에서는 부하에 비례하는 주파수를 가지는 셋 신호를 생성하여 스위칭 주파수가 가변하는 SPWM 방식으로 동작하고, I_{MC} 이상의 중부하에서는 고정된 주파수를 가지는 셋 신호를 생성하여 스위칭 파형의 주파수가 일정하고 펄스의 너비를 조절되는 PWM 방식으로 동작한다. 본 SPWM 듀얼 방식은 듀얼모드를 동작시키기 위해 VCO 와 Mode Selector만을 필요로 하기 때문에 저면적으로 구현 가능하다.

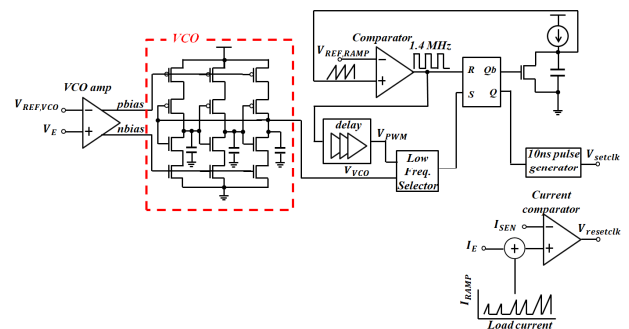


Fig. 2. PWM-SPWM controller.
그림 2. PWM-SPWM 제어기

나. 데드 타임 제어기

데드 타임은 PMOS 전력 트랜지스터와 NMOS 전력 트랜지스터의 스위칭 신호가 서로 전환될 때 두 스위치가 모두 OFF 되는 시간이다. 데드 타임은 일반적으로 고정되어 있어, 이 시간 동안 body diode conduction이 지속되면 데드 타임 시간이 길어서 전력 손실이 크다. 본 설계에서는 데드 타임

제어기를 이용하여 데드 타임을 최적화 한다.

그림 3은 데드 타임의 전력 트랜지스터의 스위칭 파형을 보여준다. V_{LX} 는 스위칭 노드의 전압이고, SW_N 과 SW_P 는 각각 NMOS 전력 트랜지스터 M_N 와 PMOS 전력 트랜지스터 M_P 의 스위칭 신호이다. M_P 가 ON이 되면 V_{LX} 를 감지하여 V_{LX} 가 low이면 다음 사이클에서 M_P 의 ON 시간을 지연시키고, V_{LX} 가 high면 다음 사이클에서 M_P 의 ON 시간을 줄여 최적의 데드 타임을 따라간다.

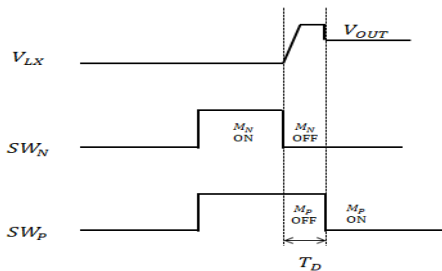


Fig. 3. Switching voltage waveform of boost converter.
그림 3. 부스트 변환기의 스위칭 전압 파형

그림 4는 데드 타임 제어기를 나타낸다. V_{LX} 센싱, pulse 카운팅, 가변적인 cap. 회로로 구성된다. SW_P OFF 될 때 V_{LX} 의 값을 감지하여 pulse를 결정하고, pulse에 따라 캐패시터 크기를 조절하면서 최적의 데드 타임을 찾아가 body diode conduction 손실을 최소화 한다.

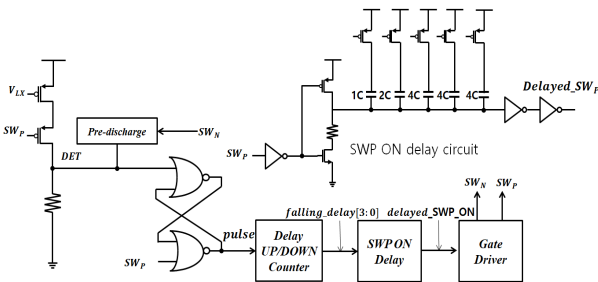


Fig. 4. Dead time controller.
그림 4. 데드 타임 제어기

III. 시뮬레이션 결과

본 DC-DC 변환기 설계를 위해 0.18 μm BCDMOS 공정을 이용하여 시뮬레이션을 하였다. 그림 5는 입력 전압 3.3 V, 부하 전류 30 mA에서의 부스트 출력 전압 V_{POS} 는 4.6 V가 스펙대로 생성됨을 보여 준다. 또한, V_{POS} 의 리플 전압은 2mV로 작게 나타났다.

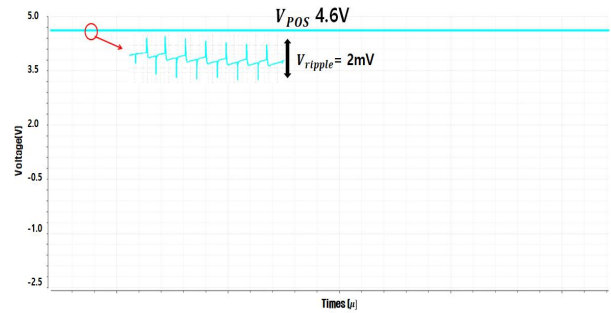


Fig. 5. Output voltage characteristics.
그림 5. 출력전압 특성

그림 6은 SW_P , SW_N 의 파형이 high에서 low 떨어질 때를 보여준다. (a)에서 SW_N 이 low가 되기 전에 SW_P 가 low가 되면 데드 타임 제어기가 이를 감지하여 falling_delay[3:0]의 값을 증가시키고 다음 사이클에서 SW_P 의 지연 시간을 증가시킨다. 반대로 (c)에서 SW_N 이 low가 될 때 SW_P 가 high에 있으면 falling_delay[3:0]의 값을 감소시키고 다음 사이클에서 SW_P 의 지연 시간을 줄인다. 이 과정을 반복하면서 최적의 데드 타임을 따라가고 있다. 스위칭 파형은 데드 타임 제어기에 의해 1 ns의 데드 타임을 가졌다.

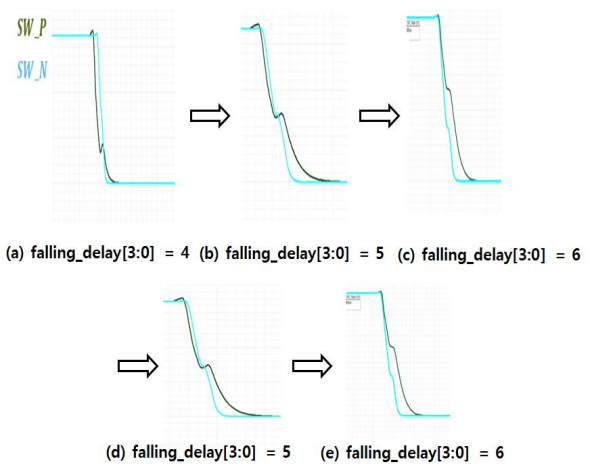


Fig. 6. Switching waveform according to Falling_delay [3:0].
그림 6. Falling_delay[3:0] 값에 따른 스위칭 파형

그림 7은 입력 전압이 3.3 V, 부하전류 1 mA~70 mA일 때 출력 전압 4.6 V에서의 부스트 변환기 효율을 나타낸다. PWM 방식만 이용한 부스트 변환기의 효율은 31%~94%이고, PWM-SPWM 방식을 이용한 부스트 변환기의 효율은 38%~94%이

고, 제안하는 데드 타임 제어기를 이용한 부스트 변환기의 효율은 39%~96%를 가진다. 제안하는 방식의 효율은 PWM-SPWM 방식보다 최대 2% 상승하였고, PWM 방식보다 최대 8% 상승하였다.

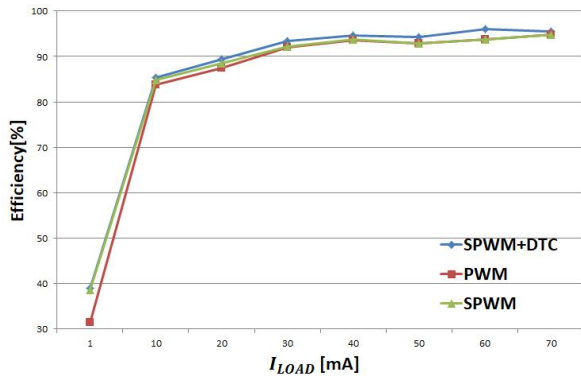


Fig. 7. Power efficiency of proposed boost converter.
그림 7. 제안하는 부스트 변환기의 전력 효율

IV. 결론

본 논문에서는 웨어러블 AMOLED 디스플레이용 부스트 변환기를 PWM-SPWM 듀얼모드와 데드 타임 제어기를 이용하여 설계하였다. 0.18 μm BCDMOS 공정을 이용하여 설계한 결과, 전력 효율은 39%~96%를 갖고 출력 전압 리플은 2 mV를 가진다. 제안하는 회로의 전력 효율은 PWM-SPWM 방식보다 최대 2% 상승하였고, PWM 방식보다 최대 8% 상승하였다.

References

- [1] S. Forest, P. Burrows, and M. Thompson, "The dawn of organic electronics," *IEEE Spectrum*, vol.37, no.8, pp.29-34, 2000. DOI: 10.1109/6.861775
- [2] Ying Wang, "Design for OLED microdisplay," *Proc. of 2010 Asia Pacific Conf. on Postgraduate Research in Microelectronics and Electronics*, pp.206-209, 2010. DOI: 10.1109/PRIMEASIA.2010.5604924
- [3] C. S. Chae, H. P. Lee, K. C. Lee, G. H. Cho, and G. H. Cho, "A single-inductor step-up DC-DC switching converter with bipolar outputs for active matrix OLED mobile display panels," in *Proc. of ISSCC*, pp.136-137, 2007.

DOI: 10.1109/ISSCC.2007.373625

- [4] J. Xiao, A. V. Peterchev, J. Zhang, and S. R. Sanders, "A 4- μA quiescent-current dual-mode digitally controlled buck converter IC for cellular phone applications," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol.39, no.12, pp.2342-2348, 2004.

DOI: 10.1109/JSSC.2004.836353

- [5] T. J. Lee, C. H. Hsu, and C. C. Wang, "High efficiency buck converter with wide load current range using dual-mode of PWM and PSM," *Proc. of International Technical Symposium on Circuits and Systems*, 2019.

DOI: 10.1109/ISCAS.2019.8702618

- [6] T. Y. Man, P. K. T. Mok, and M. J. Chan, "A 0.9-V input discontinuous-conduction-mode boost converter with CMOS-control rectifier," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol.43, no.9, pp. 2036-2046, 2008. DOI: 10.1109/JSSC.2008.2001933