

선형방식과 스위칭 방식의 레귤레이터를 함께 구동하기 위한 Mode Selector

A Mode Selector for Operation with Linear and Switching Regulator

조한희*, 박경현*, 정준모**, 구용서*

Han-Hee Cho*, Kyeong-Hyeon Park*, Jun-Mo Jung**, Yong-Seo Koo*

Abstract

In this paper, we propose mode selector for operating a switching system and regulator of linear system to detect the load current. The proposed mode selector can be a mode switching of linear system and switching system, and it has been proposed to compensate for the disadvantages of regulator of switching system with low efficiency in light load conditions. At light load conditions, the mode selector is possible to provide a high efficiency in light load condition by switching the mode to the regulator of linear system. The mode selector was designed to using a Dongbu Hitek 0.18 μ m CMOS process.

요약

본 논문에서는 부하전류를 감지하여 스위칭 방식과 선형 방식의 레귤레이터를 동작하기 위한 mode selector를 제안한다. 제안된 mode selector는 선형 방식과 스위칭 방식으로의 모드 전환이 가능하며, 경부하 조건에서 낮은 효율을 갖는 스위칭 방식의 레귤레이터의 단점을 보완하고자 제안되었다. 경부하 조건에서는 선형 방식의 레귤레이터로 mode를 전환함으로써 경부하 상태에서도 높은 효율을 제공할 수 있다. 설계한 mode selector는 동부 하이텍의 0.18 μ m CMOS 공정을 이용하였다.

Key words : Linear, Switching, Mode Selector, current sensing, dual mode

* Dept. of Electronics and Electrical Engineering, DanKook University (031-8005-3625, chohh530@naver.com)

** Dept. of Electronics Engineering, SeoKyeong University

★ Corresponding author

※Acknowledgment : This research was supported by the MSIP(Ministry of Science, ICT and Future Planning), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program (IITP-2015-H8501-15-1002) supervised by the IITP(Institute for Information & communications Technology Promotion) & 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)

Manuscript received May. 29, 2015; revised Jun. 17, 2015 ; accepted Jun. 18, 2015

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

요즘 스마트폰, 태블릿 PC 등과 같이 편리성과 휴대성을 강조한 배터리를 기반으로 하는 제품들은 필수품이 되고 있다. 이에 따라 전력관리회로의 중요성 또한 강조되고 있다. 과거에 비해 보다 다양한 기능을 갖는 휴대용 제품을 선호함에 따라 배터리를 기반으로 하는 제품의 사용시간을 증가시킬 수 있는 고효율에 관한 연구와 개발의 필요성이 강조되고 있다.

고효율을 제공하기 위해서 전력관리회로는 기존에 사용되던 선형방식의 레귤레이터에서 스위칭 방식의 레귤레이터로 대체되고 있지만, 스위칭 방식의 레귤레이터가 경부하 조건에서는 선형 방식의 레귤레이터보다 낮은 효율을 갖는 단점이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 경부하 조건에서 효율의 향상을 위해 선형 방식의 레귤레이터와 스위칭 방식의 레귤레이터를 함께 사용할 수 있는 mode selector를 제안한다 [1]-[3].

설계된 IC는 부하의 전류를 감지하여 스위칭 방식과 선형 방식으로 모드의 전환이 가능하도록 하였다. 제안한 mode selector는 동부 하이텍의 0.18um CMOS 공정을 사용하였다.

II. 본론

1. Mode Selector

본 논문에서는 부하 전류 조건에 따른 상호 모드 전환을 위하여 mode selector를 설계하였으며, 모드 전환을 위한 구동 방식은 다음과 같다. heavy load 조건에 의해 IC가 스위칭 방식에서 구동될 경우에는 선형 방식의 레귤레이터를 차단하여 추가적인 전력 소비가 생기지 않도록 하는 조건 하에서, 부하의 흐르는 전류를 감지하여 1mA 이하의 light load 조건으로 변하게 되면 선형 방식의 레귤레이터로 전환될 수 있도록 한다. 부하 전류를 감지하는 방법으로는 인덕터에 흐르는 전류를 감지하여 스위칭 방식에서 선형 방식으로 전환시킬 수 있도록 하였다[4]-[6]. 이러한 방법은 current mode 제어 방식을 이용하여 스위칭 방식을 구동시키는 방법을 선택하였기에 전류 감지 회로에서 발생하는 감지 전류값을 이용하여 추가적인 회로 설계 없이 모드 전환이 가능하도록 설계하였다. 하지만 이와 같은 방법을 사용할 경우에는 크게 2가지 유의사항이 발생하게 된다. 첫 번째로 유의할 점은 스위칭 방식에서 선형 방식으로 전환할 경우에 선형 방식이 스위칭 방식에 비해 높은 효율을 제공할 수 있는 부하 전류값을 알아야 하는데, 해당 값은 각 모드에 대한 효율 시뮬레이션을 통해 부하 전류에 대

한 효율을 구하고 비교함으로써 적정값을 구하였다. 스위칭 방식에 비해 선형 방식을 이용하여 상대적으로 높은 효율을 내기 위해서는 약 1mA 이하의 부하 전류를 기준으로 전환시켜야 함을 확인할 수 있었다. 두 번째 유의할 점으로는 1mA 부하 전류를 기준으로 모드 전환이 이루어져야 하는데, 전류 감지 회로를 이용하여 1mA의 전류를 1:1 비율의 전압으로 변환 시키기에는 적절하지 않다. 그 이유로는 1mV의 전압을 이용할 경우에는 비교를 위한 기준전압이 1mV 내외에 있어야 하기 때문에 잡음의 영향 또는 설계 시 발생할 수 있는 오차에 의해 안정적인 구동이 이루어지지 않기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 전류 감지 회로에서 발생하는 감지값을 증폭시켜 모드 전환 시 잡음과 오차에 의한 오작동을 막고 안정적인 전환이 가능하도록 하였다. 또한 counter 블록을 이용해 모드 전환을 위한 최종 출력 신호의 횟수를 셈으로써 잡음이나 지연 시간에 의해 오작동이 일어나지 않도록 회로를 구성하였다.

2. 스위칭방식에서 선형 방식으로 변환

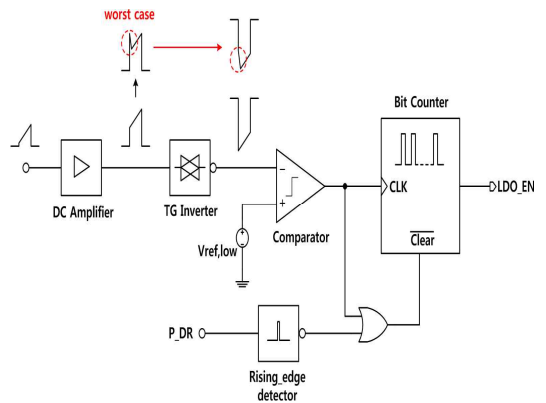


Fig. 1. Transfer switching mode to linear mode

그림 1. 스위칭방식에서 선형 방식으로 변환

그림1은 스위칭 방식에서 선형 방식으로 전환을 위한 블록도이다. current sensing circuit을 통해 감지된 전압은 1mV 단위의 전압을 DC 증폭기를 통해 100mV 단위의 전압으로 증폭시켰으며, current sensing circuit은 스위칭을 이용하여 인덕터 전류를 감지하기 때문에 스위칭에 의한 spike 현상을 일으키게 된다. 이와 같은 현상은 light load에서 더욱 선명한 효과를 얻게 되며, 높은 spike 현상으로 인해 비교기의 추가적인 동적 전력 소모가 발생하게 되고 잡음에 의한 추가적인 오작동의 원인이 될 수 있다. 이를 방지하기 위해 transmission gate를 이용하여 증폭된

감지 전압을 반전시킴으로써 비교를 위한 안정된 전압으로 변경하였다. 즉 transmission gate inverter를 사용할 경우에는 spike 현상으로 인한 신호를 반전시켜 spike 전압이 제거되기 때문에 비교기의 추가적인 동적 전력 소모를 억제할 수 있다. 모드 전환을 위해 변환되는 전류 감지 신호는 기준 전압(V_{ref})과 비교기를 통해 신호를 형성하게 되며, 생성된 신호는 bit counter 블록에 의해 일정 펄스가 인가된 후에야 선형 방식 방식으로 전환하게 된다. 이와 같은 방식은 잡음이나 시간 지연에 의해 발생할 수 있는 오작동을 방지하기 위함이며, clear 단자를 통해 인덕터의 최대 전류 구간에서 비교된 신호와의 논리 게이트를 통해 low current 가 발생하지 않았을 경우에는 clear를 시킴으로써 초기 조건으로 되돌리게 된다.

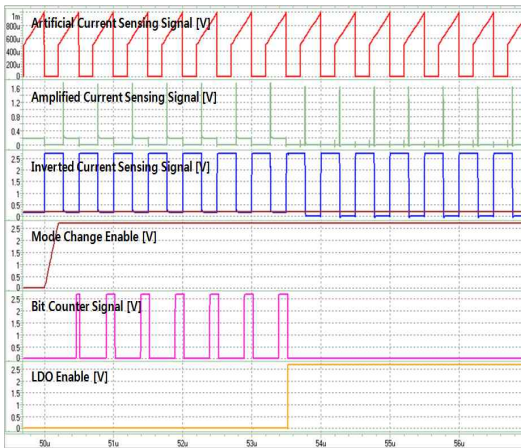


Fig. 2. Transfer switching mode to linear mode
 그림 2. 스위칭방식에서 선형 방식으로 변환

그림 2는 그림 1의 회로를 통해 모드 전환이 이루어지는 결과를 나타낸 시뮬레이션 파형이다. 인덕터 감지 전류값은 인위적인 파형을 생성시켜 인가하였으며, 스위칭에 의해 증폭된 전류 감지 전압에는 spike 현상이 일어남을 확인할 수 있다. spike 현상은 transmission gate를 이용하여 위상을 반전시킴으로써 제거할 수 있고, 제거된 신호와 기준 전압을 비교하여 모드 전환을 위한 clock을 생성하게 된다. Bit counter는 3bit 구조를 이용하여 총 7번의 clock이 인가되면 선형 방식으로 전환하기 위한 신호를 형성하게 된다. LDO_EN 출력 신호는 스위칭 컨트롤러 블록을 차단하여 추가적인 전류 소모를 줄이게 된다. 추가 사항으로는 전체 IC 회로에서 부분적인 시뮬레이션을 진행하기 위해 인위적인 mode change enable 신호를 인가하였다.

반대로 경부하에서 선형 방식의 레귤레이터가 동작할 경우에는 스위칭 방식을 위한 회로를 차단시켜 주는 조건 하에서, 부하전류의 감지를 통해 모드 전환이 이루어져야 한다. 즉, heavy load 조건을 감지하여 스위칭 방식으로 전환을 할 때에는 스위칭 방식 컨트롤러를 구동시키고 그 뒤에 선형 방식을 차단시킬 수 있어야 한다. 스위칭 방식에서는 전류 감지 회로가 설계되어 있기에 모드 전환이 용이하였지만, 선형 방식의 경우에는 전류 감지 회로가 차단되기에 부하 전류를 감지할 수 있는 추가적인 회로를 설계해 주어야 한다. 따라서 본 논문에서는 부하 전류를 감지하기 위해 패스 트랜지스터의 게이트 전압을 감지하여 전류 복사를 하는 과전류 제한 회로의 구조를 이용하였다. 선형 방식에서 스위칭 방식으로 전환이 이루어지면 스위칭 방식 컨트롤러 블록을 구동시키고 선형 방식의 레귤레이터 회로를 차단시키게 된다.

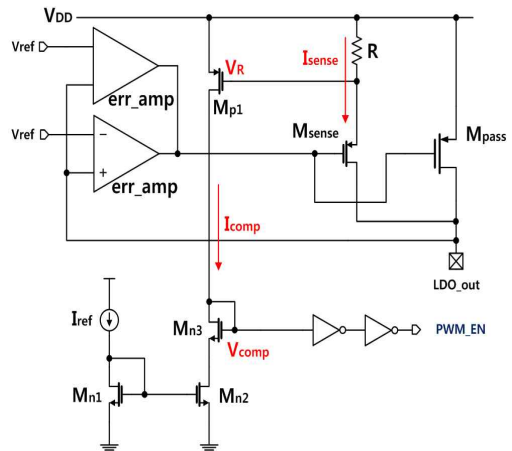


Fig. 3. Transfer linear mode to switching mode
 그림 3. 선형 방식에서 스위칭방식으로 변환

그림 3은 선형 방식에서 스위칭 방식으로 전환하기 위한 회로도이다. 회로의 구조는 넓은 대역폭을 갖도록 병렬구조로 된 오차증폭기를 사용하여 보다 넓은 대역폭을 갖고, 이로 인해 보다 넓은 범위의 부하 전류에 대해 안정적인 동작을 확보하기 위함이며, 이 모드 변환은 LDO 레귤레이터에서 과전류를 제한하기 위한 회로를 이용하였으며, 패스 트랜지스터(M_{pass})와 감지 트랜지스터(M_{sense})의 게이트와 드레인 단자는 공통이기 때문에 크기 비에 의해 전류의 복사를 더욱 용이하게 할 수 있다. 복사된 전류는 저항 R에 의해 전압을 형성하게 되며, 기준 전류원(I_{ref})과 비교를 통해 $Mn3$ 에서 신호를 형성하게 된다[7]-[9]. 안정적인 구동을 위해 인버터의 logic threshold voltage를 조절하여 오작동이 일어나지 않도록 설계하였다.

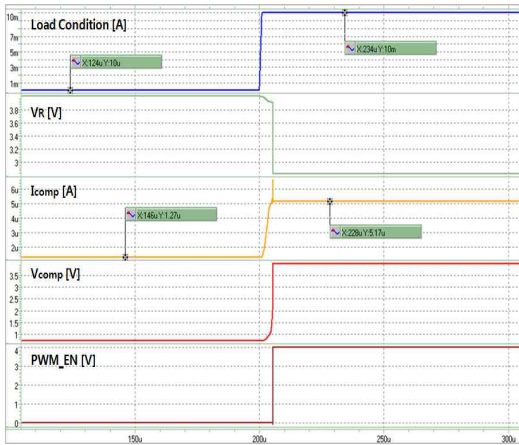


Fig. 4. Transfer linear mode to switching mode
 그림 4. 선형 방식에서 스위칭 방식으로 변환

그림 4는 그림 3의 회로를 통해 모드 전환이 이루어지는 시뮬레이션 결과 파형이다. 선형 방식의 레귤레이터의 로드 전류를 인위적으로 변환하여 시뮬레이션을 진행하였으며, 선형 방식에서 스위칭 방식으로 전환될 때 그림 3 회로의 중요 전압 및 전류를 확인하여 결과를 나타내었다. Mp1의 게이트 전압(VR)은 부하 전류가 증가함에 따라 그 값이 작아짐을 확인할 수 있다. 그 이유로는 부하 전류가 증가하면 Msense를 통해 더 많은 전류가 흐르게 되고, 저항 R 양단의 전위차가 커지게 되면서 Mp1의 게이트 전압(VR)이 작아지기 때문이다. 점점 VR이 감소하게 되면 Mp1의 Vgs는 증가하게 되어 해당 가지(branch)에 흐르는 전류(Icomp)는 증가하고, 그 증가의 한계값은 기준 전류원(Iref)이 정해주는 특징을 보이게 된다. 결국 Mp1에 대한 Vgs의 변화는 해당 가지의 전류(Icomp)를 변화시키는 것과 동시에 Mp1의 동작 영역을 변화시킴으로써 Mn3의 게이트 전압(Vcomp)을 통해 급격한 전압의 변화를 확인할 수 있게 된다. 점점 Vcomp는 인버터를 통해 선명한 디지털 신호로 변하게 되며, 생성된 신호는 Switching_EN 단자를 통해 선형 방식에서 스위칭 방식으로 전환하는 역할을 하게 된다.

그림 5는 스위칭 방식과 선형 방식 각각의 부하에 따른 효율 곡선을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 약 5mA를 기준으로 하여 스위칭 방식의 경우는 중부하에서 높은 효율을 나타내고, 선형 방식의 경우는 경부하에서 높은 효율을 나타낸다.

그림 6은 mode selector를 사용한 부하에 따른 효율 곡선을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있듯이 스위칭 방식의 중부하에서 높은 효율과 선형 방식의 경부하에서 높은 효율의 장점을 모두 가지는 것을 확인할 수 있다.

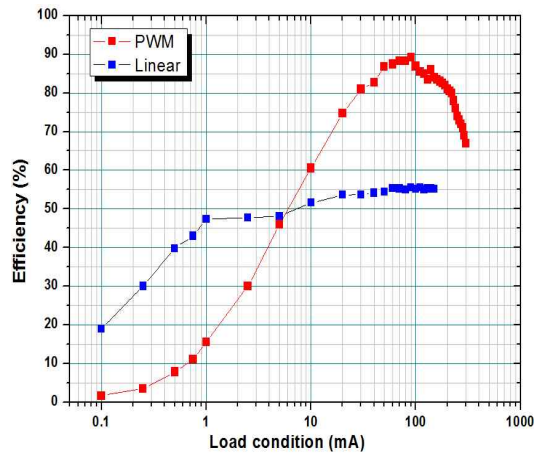


Fig. 5. Efficiency of switching and linear mode
 그림 5. 스위칭 방식과 선형 방식의 효율

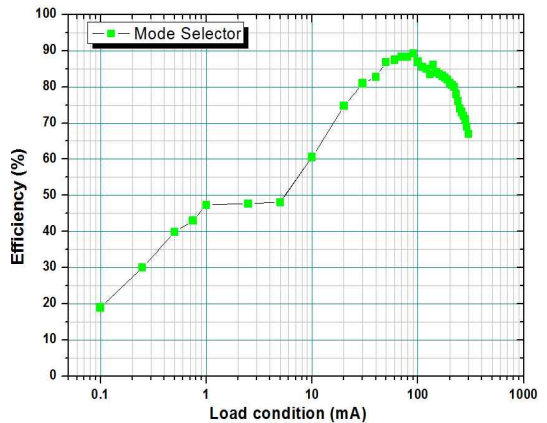


Fig. 6. Efficiency of mode selector
 그림 6. Mode selector의 효율

III 결론

본 논문은 부하 전류 감지를 이용하여 선형방식과 스위칭 방식의 모드 전환을 가능하게 하는 mode selector를 제안한다. 부하 변동에 따른 스위칭 방식의 경부하 조건에서의 효율 감소를 해결하기 위하여 선형방식을 사용하여 효율을 개선할 수 있는 mode selector를 제안하였다. 선형 방식에서는 모드 전환을 위해 부하 전류감지 회로를 추가하였고, 보다 안정적인 동작을 위해 병렬구조의 오차 증폭기를 사용하여 넓은 대역폭을 갖도록 하였다. 따라서 모드 전환을 통해 많은 어플리케이션에 사용이 가능하도록 하여 넓은 범위의 부하 전류에 대해 높은 효율을 갖도록 설계하였다.

References

- [1] Chi Yat Leung, "An Intergrated CMOS Current-Sensing Circuit for Low-Voltage Current-Mode Buck Regulator." IEEE Transactions on, Vol.52, pp. 394-397, July.2005
- [2] Cheung Fai Lee, "A monolithic current-mode CMOS DC-DC converter with on-chip current-sensing technique." IEEE, Vol.39, pp. 3-14, Jan.2004
- [3] Feng-Fei Ma, Wei-Zen Chen, "A Monolithic Current-Mode Buck Converter With Advanced Control and Protection Circuits" Power Electronics, IEEE, Vol.22 pp. 1836-1846, Sept. 2007
- [4] H. Pooya Forghani-Zadeh and Gabriel A. Rincon-Mora(2006) Low-Power CMOS Ramp Generator Circuit for DC-DC Converters. journal. ASP.
- [5] NCP1500. Dual Mode PWM/Linear BUCK Converter. datasheet. ON Semiconductor.
- [6] MIC2205. 2MHz PWM Synchronous Buck Regulator with LDO Standby Mode. datasheet. MICREL.
- [7] Sao-Hung Lu(2005) A Fast-Recovery Low Dropout Linear Regulator for Any-Type Output Capacitors. paper. IEEE.
- [8] Liu Zhiming(2009) A 1.8V LDO voltage regulator with foldback current limit and thermal protection. journal. IEEE.
- [9] KEC(2007) Current limit circuit of Low Drop-out Regulator. KIPO.

BIOGRAPHY

Han-Hee Cho (Student Member)



2014 : BS degree in Electronics Engineering, SeoKyeong University.
2014 ~ : MS course in Electronics and Electrical Engineering, DanKook University.

Kyeong-Hyeon Park (Student Member)



2015 : BS degree in Electronics Engineering, SeoKyeong University.
2015 ~ : MS course in Electronics and Electrical Engineering, DanKook University.

Jun-Mo Jung (Member)



1985 : BS degree in Electronics Engineering, Hanyang University.
1987 : MS degree in Electronics Engineering, Hanyang University.
1992 : PhD degree in Electronics Engineering, Hanyang University.
Current research interests :

integrated circuit, micro processor

Yong-Seo Koo (Member)



1981 : BS degree in Electronics Engineering, Sogang University.
1983 : MS degree in Electronics Engineering, Sogang University.
1992 : Ph.D degree in Electronics Engineering, Sogang University.
Current research interests :

semiconductor devices, such as power BJTs, LDMOSs, and IGBTs; high-efficiency power management integrated circuits (PMICs), such as DC-DC converters; and electrostatic discharge (ESD) protection circuit design.