

# 전력 관리 회로 설계 기술

남현석·노정진 (한양대학교)

## I. 서론

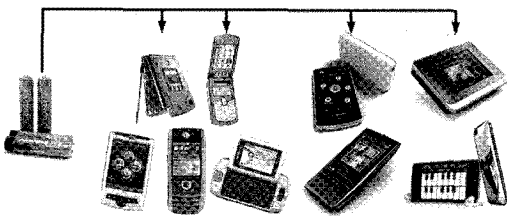
최근 휴대기기의 증가로 인해 제한된 전력을 효율적으로 시스템에 공급하는 전력 관리 회로의 중요성이 증가하고 있다. 이러한 전력 관리 회로는 파워 트랜지스터 및 이를 제어하는 컨트롤러로 구성되어 있으며 각각의 부하 시스템에 적합한 전력을 변환 및 분배를 하고 있다. 전력 관리 회로에 사용되는 공정은 일반 CMOS 공정에 비해 높은 전압에서 동작하며, 큰 전류의 유입 및 고속 스위칭 동작으로 인한 높은 신뢰성을 요구한다<sup>[1]</sup>. 또한 <그림 1>에서처럼 다양한 휴대기기로 인해 각각의 시스템에 최적화된 전력 관리 회로가 필수적이며, 정확하고 안전하게 전력을 공급할 수 있어야 한다. 최근에는 배터리 전원뿐 아니라 주변의 온도, 열, 진동, 압전 등 환경에서

발생하는 에너지를 저장하여 사용하는 energy harvesting, 태양에너지를 이용한 태양광, 바람을 이용한 풍력, 물의 흐름을 이용한 수력 등의 신재생용 전력 관리 회로 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[2]</sup>.

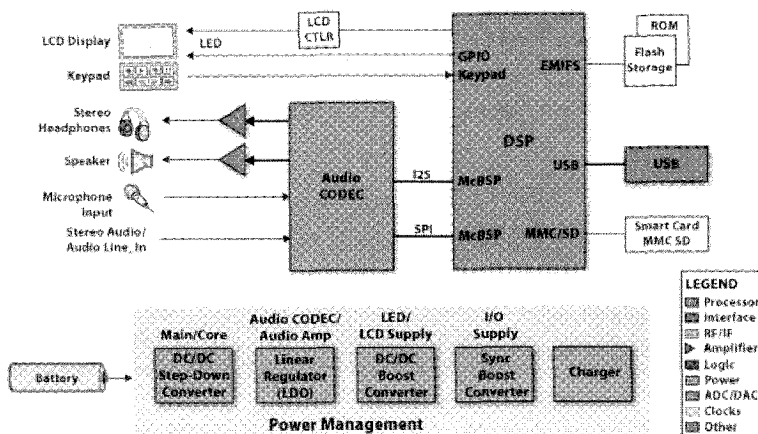
휴대 기기의 전력은 <그림 2>에서처럼 대부분 배터리 전압을 사용하기 때문에 시스템 내부에 일정한 DC 전압을 공급하기 위한 회로가 필요하다. 배터리 전압은 종류에 따라 서로 다른 전압 범위를 가지는데, NiCd는 0.9 ~ 1.8V, NiMH는 0.9 ~ 1.8V, 그리고 Li-ion은 2.7 ~ 4.2V 이다. 이렇게 시간에 따라 변하는 배터리 전압을 시스템에서 요구하는 특정 전압으로 변환시키기 위해서는 DC-DC 변환기 회로가 필수적이다.

DC-DC 변환기는 linear regulator, charge pump, switching regulator 크게 3가지로 구분할 수 있다. 이러한 DC-DC 변환기는 각각의 장단점을 가지고 있는데, 부하 시스템의 특성을 고려해 선택된다.

먼저, linear regulator의 경우 출력 ripple 전압이 작고 부하 전류의 변화 시, 빠르게 출력 전압을 보상할 수 있어 ADC, PLL/DLL, VCO 등과 같은 아날로그 회로에서 많이 사용된다. 그러



<그림 1> 다양한 휴대기기의 종류



〈그림 2〉 MP3 player 시스템(TI)

나 linear regulator의 입출력 전압의 차이가 클수록 효율이 크게 감소하기 때문에 사용이 제한된다.

charge pump의 경우, 설계가 용이하며, 입력 전압보다 낮은 전압뿐 아니라 높은 전압을 발생시킬 수 있어 다양한 어플리케이션에 활용된다. 그러나 출력 ripple 전압이 클 뿐 아니라 부하 전류가 증가할수록 효율이 크게 감소된다. switching regulator는 외부에 인덕터를 이용해 전력을 전달하는 변환기로 다른 변환기에 비해 설계 난이도가 높으며, 가장 큰 시스템 면적을 차지한다. 또한 인덕터의 사용으로 EMI 영향을 고려해야 하며, 비용이 가장 많이 드는 시스템이기도 하다. 이 변환기는 입력 전압보다 낮은 전압 뿐 아니라 높은 전압을 발생시킬 수 있어 활용도가 높고, charge pump 변환기 보다 큰 부하 전류를 공급할 수 있어 최근 중대형 LCD 및 LED backlight로 많이 사용된다.

최근 인덕터의 크기를 줄이기 위해 스위칭 주파수를 증가시키는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 연구 논문으로는 3GHz<sup>[3]</sup>, 상용 제품으로 6MHz 까지도 동작하고 있다<sup>[4]</sup>. 상용 제품에서

〈표 1〉 DC-DC 변환기 종류 및 특성<sup>[5]</sup>

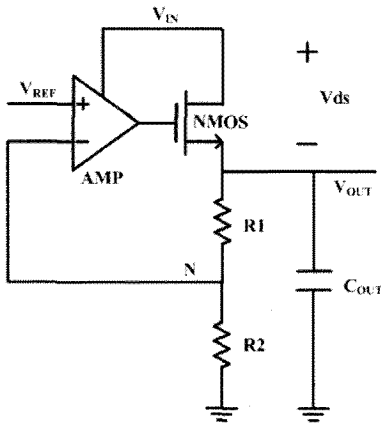
	LDO	Charge pump	Switching regulator
Efficiency	20-60%	75-90%	90-95%
Cost	Lowest	Medium	Highest
Output current	Low to medium	Low	Low to high
Dynamic response	Fastest	Slowest	Fast
Output voltage ripple	Very low	Moderate	Low
EMI	Very low	Low	Moderate
Size	Very low	Low	Largest
Transformation type	Step down	Step up Step down Inverter	Step up Step down inverter

높은 스위칭 주파수를 사용할 경우, 큰 스위칭 손실로 인해 전체 효율이 감소된다. 따라서 연구 논문에 비해 상당히 낮은 스위칭 주파수를 사용하고 있다. <표 1>에서는 위에서 언급한 3가지 DC-DC 변환기의 특성을 비교 분석 하였다<sup>[5]</sup>.

## II. DC-DC 변환기 종류 및 동작

### 1. Linear regulator

<그림 3>에서는 NMOS 파워 트랜지스터를 사용한 linear regulator를 보였다. 이 회로는 부



〈그림 3〉 NMOS 파워 트랜지스터를 이용한 linear regulator

하 시스템에 큰 전류를 공급하기 위한 NMOS 파워 트랜지스터, 출력 전압의 크기를 일정하게 유지시키기 위한 증폭기(AMP), 출력 전압의 변화를 최소화하기 위한 커패시터( $C_{OUT}$ ), 그리고 출력 전압의 변화를 감지하기 위한 저항들로( $R1$ ,  $R2$ ) 구성되어 있다. 이 회로의 출력 전압은

$$V_{OUT} = V_{REF} \times \left(1 + \frac{R1}{R2}\right) \quad (1)$$

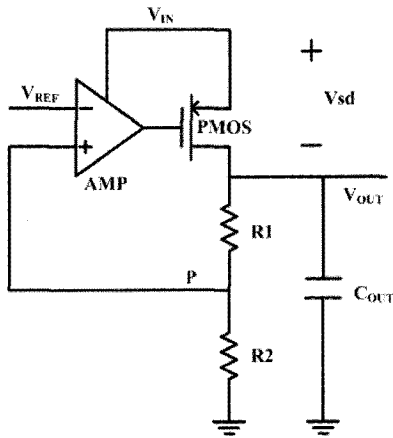
로 정의할 수 있다. 사용자는  $V_{REF}$  전압,  $R1$  또는  $R2$  저항을 이용해 원하는 출력 전압을 조절할 수 있다. 만약 부하 전류가 급격히 증가해 출력 전압이 낮아질 경우,  $R1$ 과  $R2$  저항에 흐르는 전류가 낮아지며, N 노드 전압이 감소된다. N 노드 전압은 AMP의 반전 입력부에 연결되어 있어, 낮은 전압이 인가될 경우, AMP 출력 전압은 증가하게 된다. 증가된 출력 전압은 NMOS 파워 트랜지스터의 게이트-소스 전압차를 증가시켜 더 많은 전류를 허용함으로써 순간적으로 낮아진 regulator의 출력 전압을 보상한다. 반대로 부하 전류가 급격히 줄어들어 출력 전압이 높아

질 경우, N 노드 전압 또한 상승하게 되며, AMP 출력 전압을 감소시킨다. 따라서 NMOS 파워 트랜지스터에 흐르는 전류 양을 감소시켜 출력 전압을 보상하게 된다.

Linear regulator의 효율은 대략 입출력 전압의 크기에 따라 정해지며, 다음 식과 같이

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} = \frac{V_{OUT} \times I_{OUT}}{V_{IN} \times I_{IN}} \quad (2)$$

나타 낼 수 있다. 일반적으로 linear regulator의 효율은 입출력 전압의 영향을 크게 받는다. NMOS 파워 트랜지스터로 구성된 linear regulator의 최소 공급 전압 ( $V_{IN}$ )은 출력 전압에 ( $V_{OUT}$ ) 대해 크게 영향을 받는데, 최소 공급 전압은 출력 전압과 NMOS 파워 트랜지스터를 포화영역에서 동작시키기 위한 전압, 그리고 AMP 내부 출력 단의 안정적인 동작을 위한 전압의 합보다 커야 한다. 따라서 이 회로의 경우, 입출력 전압 차가 크기 때문에 즉, NMOS 파워 트랜지스터의 드레인-소스 전압 차가 크기 때문에 대부분의 전력 손실이 이 부분에서 발생되며, 상당히 낮은 효율을 가지게 된다<sup>[6]</sup>. 이러한 문제점을 해결하기 위해 〈그림 4〉에서는 NMOS 파워 트랜지스터 대신 PMOS 파워 트랜지스터를 사용하였다. 출력 전압은 식 (1)에서 처럼 동일하게 나타낼 수 있다. 이 회로의 경우, 입출력 전압 차이는 대략 300mV 이하로 NMOS 파워 트랜지스터를 사용했을 때 보다 최소 공급 전압의 크기를 낮게 할 수 있다. 그러나 휴대 기기에서 많이 사용하는 리튬 건전지의 전압과 휴대 시스템 내에 디지털 회로의 동적 전력 소모를 줄이기 위해 낮은 전압을 사용하는 것을 고려해 볼 때, linear regulator 변환기는 디지털 시스템에 전

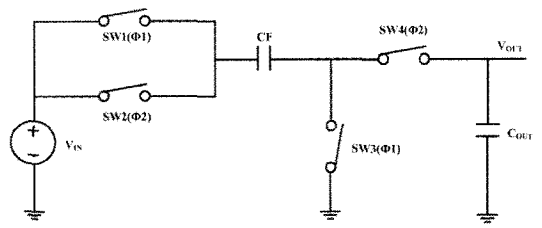


〈그림 4〉 PMOS 파워 트랜지스터를 이용한 linear regulator

력을 공급하는 변환기로는 다소 전력 손실을 감수해야 한다.

## 2. charge pump 변환기

〈그림 5, 6〉에서는 각각 step-down, step-up charge pump 회로를 보였다<sup>[7,8]</sup>. step-down charge pump 회로는  $\Phi 1$ 에 의해 SW1, SW3, SW6, SW8 스위치가 turn-on 되어 플라잉 커패시터 (CF)에 전하를 저장한 후,  $\Phi 2$ 에 의해 SW2, SW4, SW5, SW7 스위치가 turn-on 되

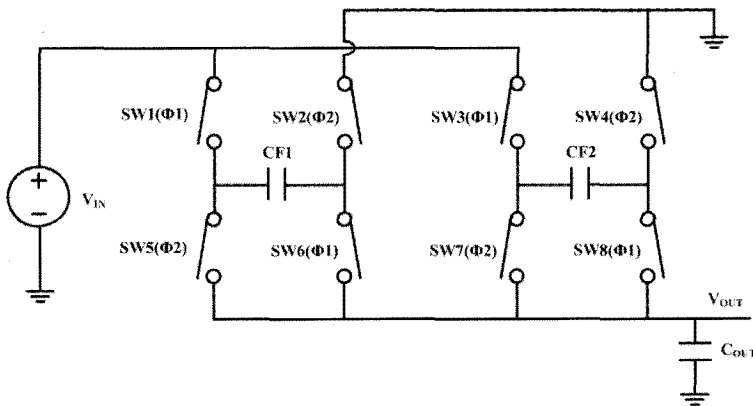


〈그림 6〉 Step-up charge pump

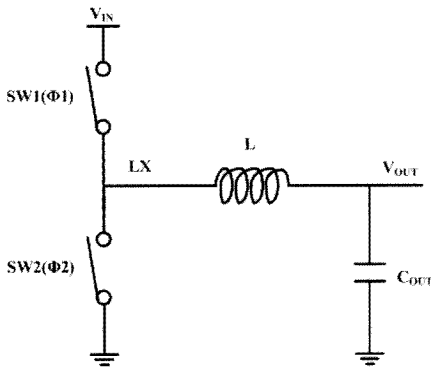
어 출력 커패시터 ( $C_{OUT}$ )에 전하가 공급된다. Step-up charge pump 회로 또한 동일한 방법으로 동작하며 step-down charge pump 회로와는 다르게  $\Phi 2$  동작 구간에서 SW2 스위치가 그라운드가 아닌 공급 전압과 연결된다.

## 3. Switching regulator

〈그림 7〉에서는 입력 전압보다 낮은 전압을 발생 시킬 수 있는 buck 변환기의 구성도 보였다. 이러한 buck 변환기는 입출력 전압 차가 증가하더라도 높은 효율을 유지할 수 있을 뿐 아니라 큰 부하 전류를 공급할 수 있어 최근 디지털 회로에 많이 사용되고 있다. Buck 변환기는 두 개의 파워 트랜지스터와 인덕터, 그리고 커패시터로 구성된다. 인덕터와 커패시터는 LX 노드의



〈그림 5〉 Step-down charge pump



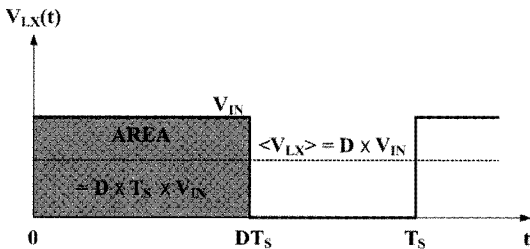
<그림 7> Buck 변환기

큰 전압 변화를 감소시켜 출력 전압의 ripple를 작게 하는 역할을 한다. 이 회로는 Φ1과 Φ2 클락을 이용해 각각의 파워 트랜지스터가 turn-on 되는 시간의 비를 이용해 원하는 출력 전압을 발생시키게 된다. <그림 8> 에서 파워 트랜지스터의 turn-on 시간에 따른 평균 출력 전압을 보였다. 여기서  $T_S$ 는 스위칭 주파수의 주기이며, Φ1이 SW1 스위치를 turn-on 시키는 시간을  $DT_S$ , Φ2가 SW2 스위치를 turn-on 시키는 시간을  $(1-D)T_S$ 로 정의할 수 있다. 따라서 출력 전압은

$$V_{OUT} = \frac{1}{T_S} \int_0^{T_S} V_{LX}(t) dt \quad (3)$$

$$= \frac{1}{T_S} (D \times T_S \times V_{IN}) = D \times V_{IN}$$

로 표현 할 수 있다<sup>[8]</sup>. 식(3)에서 보는 바와



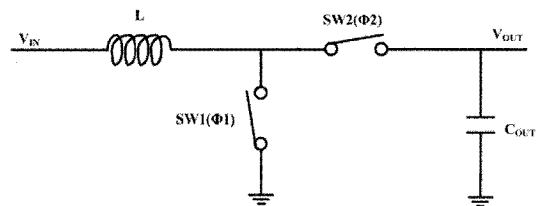
<그림 8> 스위칭 시간에 따른 출력 전압의 변화

같이 출력 전압은 duty ratio (D)에 의해 결정되며 duty ratio가 작아질수록 출력 전압의 크기 또한 작아지게 된다. 이런 duty ratio는 추가적인 컨트롤러 회로를 이용해 조절이 가능하다.

<그림 9>에서는 입력 전압보다 높은 전압을 발생시킬 수 있는 boost 변환기의 구성도를 보였다. Buck 변환기와 마찬가지로 두 개의 파워 트랜지스터와 인덕터 그리고 커패시터로 구성되어 있다. Buck 변환기와는 다르게 파워 트랜지스터의 위치가 변경되었다. Boost 변환기의 출력 전압은 buck 변환기와 동일한 방법을 이용해

$$V_{OUT} = V_{IN} \times \frac{1}{1-D} \quad (4)$$

로 정의 할 수 있다<sup>[9]</sup>. Boost 변환기는 Φ1이 SW1 스위치를 turn-on 시킴으로써 인덕터에 에너지를 저장하며, Φ2가 SW2 스위치를 turn-on 시켜 출력 부하에 에너지를 전달하게 된다. 이러한 switching regulator는 외부에 큰 인덕터를 사용하기 때문에 다른 변환기에 비해 큰 면적을 차지한다. 그러나 최근 1MHz ~ 8MHz의 스위칭 주파수를 사용해 인덕터의 크기를 줄이고 있을 뿐 아니라 다양한 컨트롤 방법을 이용해 효율을 높이고 있다.



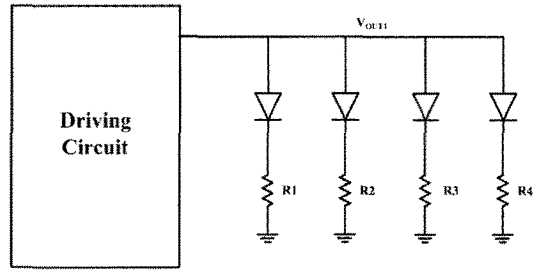
<그림 9> Boost 변환기

### III. LED 구동을 위한 컨트롤 방법

최근 기존 Cold Cathode Fluorescent Lamp (CCFL) 보다 높은 효율 및 밝기를 가지는 LED 반도체 기술의 보편화로 이를 응용한 어플리케이션이 증가고 있으며, 기존 CCFL 시장을 대체하고 있다. LED는 소비전력이 낮아 에너지 절감에 유리하고, CCFL에 비해 수명이 길다. 또한 Red, Green, Blue (RGB)를 이용해 모든 색상을 구현할 수 있으며, 전력을 생산하는 과정에서 발생하는 이산화탄소를 줄이고, 수은을 사용하지 않아 친환경적이다.

LED 광원은 LED 조명을 비롯해 노트북, TV, 휴대폰 액정 등의 backlight unit으로도 사용된다. 이러한 LED는 forward 전류에 비례하는 빛을 발생시키는 전류 구동 디바이스이다. 따라서 일정한 전류를 공급하는 것이 중요한데 온도 및 공급 전압의 변화에도 일정한 전류를 조절할 수 있는 회로가 필수적이다. 전류를 조절하는 방법은 크게 두 가지가 있는데, 병렬 연결과 직렬 연결로 구성할 수 있다<sup>110)</sup>.

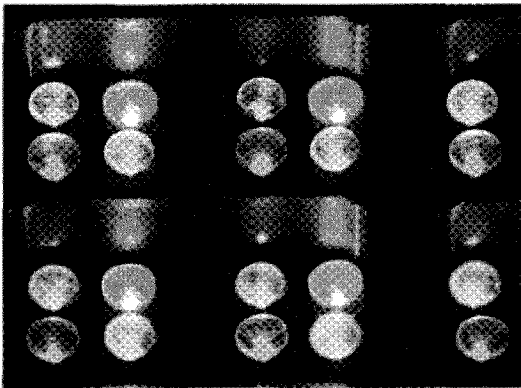
먼저 <그림 11>에서 병렬 연결 구조를 보았다. 병렬 연결 구조의 경우, 저항과 LED 로 구성



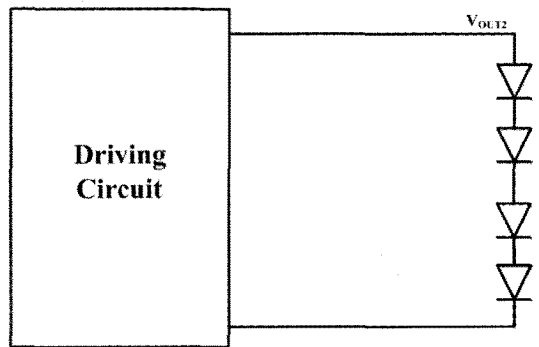
<그림 11> 병렬 연결 구조

되는데, 이 경우  $V_{OUT1}$  전압이 직렬 연결 구조의  $V_{OUT2}$ 에 비해 낮아 더 안정적으로 동작할 수 있다. 그러나 병렬 연결 구조는 각각의 저항을 필요로 하기 때문에 전체 시스템 크기가 증가하며, 저항으로 인한 전력 손실로 효율이 감소한다. 또한  $V_{OUT1}$ 의 변화 및 저항의 변화율을 고려해 볼 때, 각각의 LED에 동일한 전류를 흘려 줄 수 없으며, 이로 인해 빛의 밝기가 달라진다.

이러한 문제는 직렬 연결 구조를 이용해 해결할 수 있다. <그림 12>에서 보여 지듯이 LED는 직렬로 연결되어 있어 높은 전압을 필요로 하고 있다. 이 구조는 LED에 흐르는 전류를 감지하며 감지된 전류를 다시 Driving circuit에 적용시킴으로서 LED에 일정한 전류를 흘려 줄 수 있게 된다.



<그림 10> LED 광원



<그림 12> 직렬 연결 구조

## IV. 최신 전력 관리 회로 동향

최근 배터리와 시스템 내부의 전압 차가 커지고, 사용 전류가 증가하면서 이러한 조건에서도 효율을 크게 높일 수 있는 switching regulator가 많이 연구되고 있다. 특히, switching regulator의 작은 시스템 대역폭으로 인한 느린 천이 응답 속도 문제, 간단하고 작은 면적을 가지는 LCD bias 생성 회로, 그리고 큰 인덕터의 사용으로 인한 면적 문제 등을 해결하기 위해 다양한 연구가 진행되고 있다. 따라서 본고에서는 최근에 제안된 연구 논문들의 동향을 살펴보고자 한다.

### 1. 빠른 천이 응답속도를 가지는 switching regulator

동적 전력 소모를 줄이기 위해 시스템에서는 낮은 전압을 사용하고 있으며, 다양한 기능의 회로들이 동일한 칩 위에 집적되면서 더 많은 양의 부하 전류를 필요로 하게 되었다. 특히, 대기 모드와 활성 모드 사이의 전류 소모양이 크게 차이가 나면서 대기 모드와 활성 모드 변환 시, 급격한 전류 변화로 인해 switching regulator의 출력 전압이 크게 변해 신뢰성 문제 및 부하 시스템의 특성을 악화 시킨다. 이는 기본적으로 switching regulator의 작은 시스템 대역폭으로 인한 문제이며, 이를 해결하기 위한 회로가 최근<sup>[11,12]</sup>에 제안되었다. 제안된 회로들은 대부분 추가 회로를 이용해 가장 지연 시간이 큰 부분의 동작 특성을 향상 시켜 응답속도를 빠르게 하였다.

### 2. TFT-LCD bias 전압을 위한 회로

전력 관리 회로는 시스템 내부에 일정한 전압을 공급하는 것 뿐 아니라 디스플레이에서 많이 사용되는 backlight의 전력 공급으로도 사용된다. 특히, LCD bias의 경우, 높은 양의 전압과 음의 전압을 필요로 하는데, 기존의 방법<sup>[13]</sup>이 이용할 경우, 많은 수의 외부 부품이 필요하며, 이는 시스템의 면적을 증가 시킬 뿐 아니라 가격을 상승 시킨다. 따라서 [14]에서는 이러한 문제점을 해결하기 위한 회로를 제안하였으며, 기존 방법에 비해 용이하게 음의 전압을 조절할 수 있으며, 적은 외부 부품을 사용하여 시스템 면적을 줄였다.

### 3. Single Inductor Multi Output(SIMO)

최근 휴대기기 내부 시스템에서는 다양한 기능의 회로들이 사용되면서 최적화된 전압을 필요로 한다. 이는 전력 소모를 줄여 에너지 효율을 높이기 위함이다. 그러나 switching regulator를 이용해 다양한 전압을 발생 시킬 경우, 많은 인덕터를 필요로 하게 되며, 이로 인해 전체 시스템 크기가 증가된다. 따라서 [15,16]에서는 하나의 인덕터를 이용해 여러 개의 출력 전압을 생성하는 switching regulator를 제안하여 전체 시스템 크기를 크게 줄였다. 이 SIMO 회로는 기본적으로 하나의 인덕터를 이용해 여러 개의 출력 전압을 생성할 수 있으며, 각각의 출력 전압을 보상 회로 또는 간단한 비교기 회로를 이용해 조절할 수 있다.

## V. 결론

본고에서는 최근 휴대기기의 증가로 인해 제한된 배터리 전력을 효율적으로 사용하기 위한 DC-DC 변환기들에 대해 살펴보았으며, 각각의 특성에 대해 정리하였다. 휴대기기는 다양한 기능의 회로가 집적되어 많은 양의 전력 및 다양한 전압을 요구한다. 이러한 추세에 맞추기 위해서는 부하시스템의 특성을 고려해 최적화된 전력을 공급할 수 있는 설계 기술이 필요하다. 또한 LED 시장의 급성장으로 인해 이에 적합한 전력을 안정적으로 공급하기 위한 기술이 필요하다. 이러한 것을 고려해 볼 때, 본고에서 언급한 각각의 특성을 바탕으로 특정 시스템에 최적화된 전력을 공급할 수 있는 전력 관리 회로의 중요성은 그 어느 때 보다도 중요하다고 할 수 있겠다.

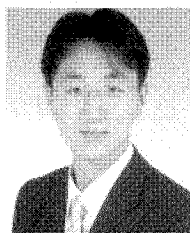
### 참고문헌

- [1] 양일석, 김중대, 장문규, 친환경 절전형 전력반도체 기술, 전자통신동향분석 제24권 제6호, pp.11-21, 2009년 12월.
- [2] 양일석, 친환경 절전형 PMIC 기술 산업 동향 및 향후 전망, ITSOC Magazine, pp.16-21, 2010년 1월.
- [3] M. Alimadadi, S. Sheikhaei, G. Lemieux, S. Mirabbasi, and P. Palmer, "A 3GHz switching DC-DC converter using clock-tree charge-recycling in 90nm CMOS with integrated output filter," ISSCC Dig. Tech. Papers, pp.532-533, 2007.
- [4] TPS62619.: 305-mA, 6MHz high-efficiency step-down converter in low profile chip scale packaging (height < 0.4mm), 2010, <http://www.ti.com>
- [5] 권오경, Power management and battery management IC, 제16회 한국반도체학술대회, pp 3-38, 2009년 2월.
- [6] G. Bontempo, T. Signorelli, and F. Pulvirenti "Low supply voltage, low quiescent current, ULDO linear regulator", in Proceeding the 8th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, pp.409-412, Vol.1, 2001.
- [7] TPS60500.: High efficiency, 250mA step-down charge pump, 2002, <http://www.ti.com>
- [8] TPS60151.: 5V/140mA charge pump device, 2009, <http://www.ti.com>
- [9] R. W. Erickson and D. Maksimovic, Fundamental of Power Electronics, Norwell, MA:Kluwer, 2001.
- [10] C.-H. Lin, T.-Y. Hung, C.-M. Wang, and K.-J. Pai, "A balancing strategy and implementation of current equalizer for high power LED backlighting," in Proceeding 2007 7th IEEE International Conference on Power Electronics and Drive Systems, pp.1613-1617, Nov., 27-30.
- [11] J. Roh, "High-performance error amplifier for fast transient dc-dc converters," IEEE Trans. Circuits Syst. II, Exp. Briefs, Vol.52, No.9, pp.591-595, Sep., 2005.



- [12] C.-Y. Hsieh and K.-H. Chen, "Adaptive pole-zero position (APZP) technique of regulated power supply for improving SNR," IEEE Trans. Power Electron. Vol.23, No.6, pp.2949-2963. Nov., 2008.
- [13] TPS65146.: Compact LCD bias IC with LDO, VCOM buffer and reset function, 2008, <http://www.ti.com>
- [14] H. Nam, I. Kim, Y. Ahn, J. Roh, "DC-DC switching converter with positive and negative outputs for active-matrix LCD bias," IET Circuits, Devices Syst., 2010, Vol.4, Iss.2, pp.138-146.
- [15] M.-H. Huang and K. H. Chen, "Single-inductor multi-output (SIMO) DC-DC converters with high light-load efficiency and minimized cross-regulation for portable devices," IEEE J. Solid-State Circuits, Vol.44, No.4, pp.1099-1111, Apr., 2009.
- [16] M. Belloni, E. bonizzoni, and F. Maloberti, "On the design of single-inductor multiple-output DC-DC buck converters", in IEEE Int. Symp. Circuits and Systems (ISCAS), May, 2008, pp.3049-3052.

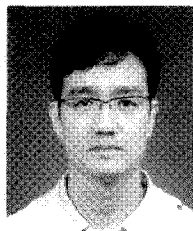
## 저자소개



남 현 석

2005년 03월 한림대학교 전자공학부 학사  
 2007년 03월 한양대학교 전자전기제어계측공학과 석사  
 2007년~현재 한양대학교 전자전기제어계측공학과 박사과정

주관심 분야 : Power Management ICs, DC-DC Converters



노 정 진

1985년 03월 한양대학교 전기공학부  
 1996년 09월 Pennsylvania State University  
 1998년 06월 University of Texas at Austin  
 1989년 12월~1996년 06월 Senior Engineer, Samsung Semiconductor, Korea  
 2000년 05월~2001년 08월 Senior Design Engineer, Intel, USA  
 2001년 12월~2002년 02월 University of Texas at Austin, Visiting Professor  
 2001년 09월~현재 Associate Professor, Hanyang University, Ansan, Korea

주관심 분야 : Mixed-signal VLSI Design, Over-sampling Delta-sigma Data Converters, Power Management ICs, DC-DC Converters