

휴대폰에서 전력 시스템 설계와 체크리스트

신청호, 조준동
성균관대학교 휴대폰학과

Power Electronics System Design and Checklist for Cellular Phone

Chung-Ho Shin, Jun-Dong Cho
Sungkyunkwan Univ. Dept. of Mobile Communication

ABSTRACT

실제 휴대폰 환경에서 쓰이고 있는 전력 시스템이 어떻게 되어 있는지 고찰해보고, 어떤 것들이 문제가 되고 있으며, 그 해결방안으로는 어떤 것들이 있는지 알아본다. 각 regulator의 정의와 그 spec에 대하여 장단점 분석과 함께 실무적으로 어떻게 응용되고 있으며 미래의 발전방향은 어떻게 될 것인지 고찰한다. SoC(System on Chip)의 결정체인 휴대폰에서 전력 시스템 디자인이 차지하는 그 영향에 대해 논하고 그 application 관점에서 체크리스트를 만들어보기로 한다.

1. 서론

휴대폰은 여러 가지 Hardware기술과 Software기술 그리고 Mechanical까지 고려한 System on Chip Design에 있어서 결정적 시스템이라고 할 수 있다. 특히 그 하드웨어적인 구성 요소들을 보게 되면, 컴퓨터의 Mother board와 같이 PCB(Printed Circuit Board)위에 CPU가 있으며, 메모리가 실장되어 있다. RF(Radio Frequency)전송이라는 특수한 환경 때문에 PAM(Power Amplifier Module)과 LNA(Low Noise Amplifier)가 있고, Duplexer와 SAW(Surface Acoustic Wave) filter와 같은 각종 주파수 필터들이 존재한다. 또한 영상, 음성과 같은 멀티미디어를 지원하기 위해서 LCD(Liquid Crystal Display)또는 OLED(Organic Light Emitting Diodes), 카메라와 같은 영상매체와 speaker, microphone과 같은 음성매체, 또한 그것들을 지원해주기 위한 Multimedia chip IC가 필요할 것이다.

그렇다면 지금까지 열거한 CPU, RF IC, 멀티미디어 매체들을 동작시키기 위한 가장 기본적인 것은 무엇일까. 바로 전원이다. 어떻게 하면 전원을 안정적으로 원하는 레벨에 맞춰서 공급할 수 있을까 하는 물음에 답하는 것이 바로 Regulator 기술이다.

Regulator는 입력전압이 흔들리더라도, 출력 부하조건이 달라진다고 하더라도 원하는 constant voltage를 만족시키는 것이 주요 역할이다. 전자를 line regulation이라고 말하며 후자를 load regulation이라고 말한다.

Regulator의 종류는 크게 Switching type과 Linear type으로 분류된다. Switching type은 스위치(보통 NMOS로 구성)와 Inductor로 구성되며 효율이 높으나(보통 90%이상) EMI 노이즈가 발생하거나 size가 커지는 단점이 있다. Linear type은 구성이 간단하고 안정성이 우수하나 효율이 떨어지는 단점이 있

다.(보통 50%이하)

휴대폰에서는 각 IC의 cost, size, 효율을 고려하기 때문에 1-2개의 Buck converter(Switching type)와 8개정도의 LDO(Linear type)를 사용하며, 각각 discrete로 구현하기도 하지만, 보통은 PMIC(Power Management IC)형태로 집적화되어 있다.

이 논문에서는 이들 Regulator들이 실제로 어떻게 쓰이고 있고 issue가 되고 있는 것은 무엇이며 그 해결방안으로는 어떤 것들이 있는지 Check list를 만들어 보기로 한다.^[1]

2. Regulator topology

2.1 DC-DC Converter

Buck converter는 기본적으로 NMOS 스위치와 스위칭 다이오드(NMOS로 대체 가능) 그리고 Power inductor로 구성되어 있다. PWM(Pulse Width Modulation) 신호로 그 전압을 제어할 수 있는데 그 시비율(Duty Ratio)과 전압과의 관계는 식 (1)과 같다.

$$D = \frac{V_o}{V_i} \quad (1)$$

그 정상상태 해석은 Robert W. Erickson 의 'Fundamentals of Power Electronics'^[1]를 보게 되면 잘 설명되어 있다. 여기서 문제는 과도상태 해석에서 발생한다. 먼저 부하(load)상황이 변화했을 때 출력 전압이 흔들릴 수 있다는 점을 들 수 있다. 그 해결책으로서 feed-back network를 사용하게 되는데 그 기준을 전압으로 할 것인지 전류로 할 것인지에 따라 voltage-fed buck과 current-fed buck으로 나뉘기도 한다.^[2]

저전력화의 일환으로 최근 Intelligent power control이라고 불리는 DVS(Dynamic Voltage Scaling), AVS(Adaptive Voltage Scaling)기술^[3]이 등장하였으며 식 (2)와 같이 Energy 방정식에서 전압과 주파수를 상황에 따라 낮춤으로서 전력감소를 추구하는 기술이다.

$$E = \frac{1}{2} \cdot V^{2DD} \cdot C_{eff} \cdot f_{clk} \cdot T \quad (2)$$

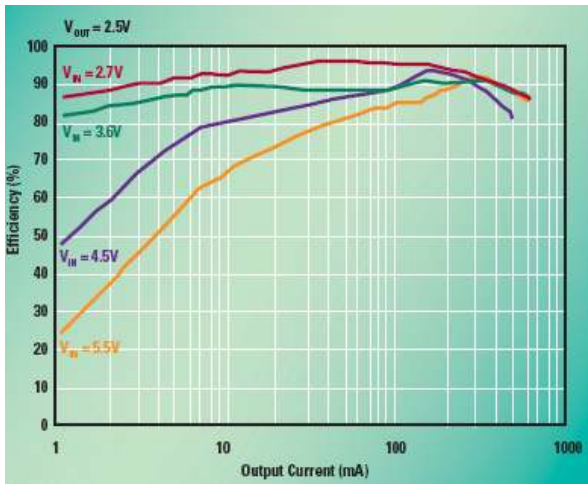


그림 1 입력전압에 따른 Efficiency(%) vs. load current

또 하나의 issue로는 바로 light load 환경에서의 PWM 모드의 효율문제를 들 수 있다. heavy load 환경에서 inductor current는 CCM(Continuous Current Mode)상태이며 정상상태 해석을 따른다. 그러나 light load 가 되게 되면 DCM(Discrete Current Mode)상태가 되어 해석이 달라지게 되고 더이상 PWM은 효율이 좋지 않게 된다.

그림 1에서 보게 되면 output current가 감소함(light load 환경)에 따라 DC-DC 효율이 감소하고 있으며 입력전압이 낮을 수록 효율은 증가하는 것을 알 수 있다. 이 해결방안으로 나온 것이 바로 PFM(Pulse Frequency Mode)이며 이른바 burst-mode라고도 불리운다. PWM과 PFM을 함께 결합한 것이 바로 Dual-mode buck converter^[4]이다.

2.2 LDO

cost, size, 안정성에 있어서 buck converter보다 휴대폰에서 많이 쓰이고 있는 것이 LDO(Low Drop Out)이다. 그림 2에서 보듯이 회로상으로 buck보다 훨씬 간단하여 pass transistor와 error-amplifier, bandgap reference diode만으로 구현가능하다. 휴대폰의 특수성은 역시 RF(Radio Frequency)를 다룬다는 것이며 CDMA의 경우 800MHz-2GHz까지의 초고주파 신호를 다루기 때문에 EMI(electromagnetic interference)를 발생시킬 수도 있는 buck보다는 PSRR(Power Supply Rejection Ration)성능이 좋은 LDO를 사용하고 있다.^[7]

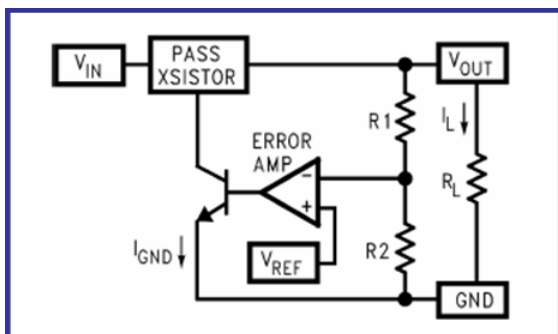


그림 2 LDO Blockdiagram

LDO의 문제는 buck에 비해 효율성이 상당히 떨어진다는 것인데 대부분이 50%를 넘지않고 있다.

2.3 Charge-pump

LCD Backlight와 같은 영상관련 Driver IC에는 주로 간단하게 Charge-pump를 사용하게 된다. buck과 같은 DC-DC Converter는 inductor를 사용하기 때문에 size가 커지는 반면, charge-pump는 capacitor들만으로 충방전에 따른 전압을 생성하기 때문에 size면에서 장점이 있으나 대신 용량면에서는 큰 대전류를 다루지 못하는 한계가 있다.

2.4 Inner-Charger

휴대폰내에는 5V DC전압을 받아서 Li-Ion 2차전지를 충전할 수 있는 Inner-Charger가 내장되어 있다. 최근 동향으로는 Inner-Charger 앞단에 OVP (Over Voltage Protection)를 장치하여 약 24V까지도 surge 전압을 견딜 수 있도록 설계되고 있는데, 그 이유는 사용자가 충전 아답터를 공인된 것을 사용하지 않음에 따른 휴대폰내의 voltage stress를 제거하기 위함이다. 또한 USB-OTG가 발달함에 따라 USB 5V 전압으로도 충전을 가능하게 하는 기술도 개발되고 있다.

3. 실제 휴대폰내 에서의 전력 시스템

실제 휴대폰내에서는 위에서 언급했던 DC-DC Buck converter와 LDO, Charge-pump, Inner-charger 등이 Integrated PMIC 또는 Discrete로서 구현되고 있다.

그림 3은 켈컴에서 나온 PM7500이라는 모델의 PMIC를 보여주고 있다.^[8] 3G 기술에 대한 RTC(Real Time Clock)와 Coin cell backup과 USB OTG기술을 보여주고 있는 것이 특이하다. Speaker Driver amplifier와 vibrator driver가 내장되어 있고 camera flash LDO가 있다. 또한 한가지 더 특이한 사항은 바로 TCXO / SLEEP Oscillator 와 Controller가 자체 내장되어 있다는 것인데, 보통 TCXO는 PSRR특성을 고려하여 자체 LDO를 쓰긴 하지만 MSM을 개발하는 켈컴에서는 그런 TCXO와 Sleep controll 관리를 함께 하려고 하는 움직임을 보이고 있다.

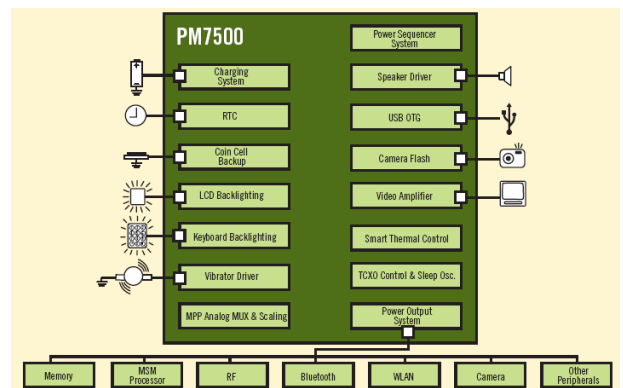


그림 3 PM7500 켈컴 PMIC

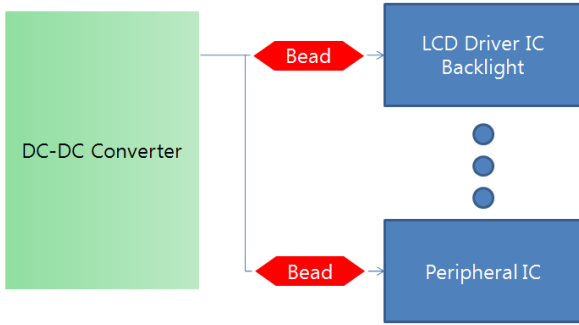


그림 4 Bead 로 인하여 cross regulation 발생

4. 실제 휴대폰내 에서의 전력 시스템 Checklist

4.1 cross-regulation 문제

실제 현업에서 발생한 전원단의 cross-regulation 문제로 인한 Checklist를 논해보기로 한다.

그림 4을 보게 되면, 실제로 하나의 컨버터로서 다출력을 구성하는 경우가 많은 것을 알 수 있다. 각종 peripheral IC와 함께 LCD Backlight와 같이 전원단을 사용할 경우 실제로 화질에 영향을 미칠 수 있다.

bead 또는 EMI filter로서 전원단의 고주파 노이즈를 제거하는 효과를 보려고 하지만 실제로 bead로 인한 역기전력현상으로서 LCD 화면이 미세하게 흔들리는 현상이 발생되었다. bead를 제거하자 그 현상은 없어졌으며 이렇듯이 다출력 컨버터를 구성할 때에는 조심하여야 할 것이다.

4.2 TVS-Diode 문제

휴대폰과 같이 항상 사람의 몸에 가까이 있는 제품일수록 정전기(ESD : Electrostatic Discharge)의 영향을 무시할 수 없다. 반도체 IC가 가장 취약한 것이 바로 물과 정전기이기 때문이다. 인간의 몸에서는 30KV 이상의 고전압 정전기가 발생하기 때문에 휴대폰 전원 Line에 이에 대비한 TVS-Diode 또는 Varistor 들을 쓰고 있다. 그렇지만 신뢰성 테스트에서 TVS-Diode가 short가 되었을 경우 그 누설전류는 배터리의 수명을 감소시키게 된다. 적절한 cap과 varistor 그리고 안정된 ground 확보가 전원 line의 ESD보호 예방책이 될 수 있다.

5. 미래의 지능형 전력 관리 시스템

5.1 ARM社와 NS(National Semiconductor)社의 IEM(Intelligent Energy Management)

최근 ARM과 NS간의 공동개발로서 IEM이라는 것이 개발되었다. PWI(Power Wise Interface)를 사용하여 CPU와 PMIC가 서로 feedback control하는 시스템으로서 APC(Advanced Power Controller)기술을 사용한다. 상황에 따라 실시간적으로 주파수와 전압을 낮춤으로서 배터리 수명을 연장시키는 DVFS(Dynamic Voltage and Frequency Scaling)기능이라고 할 수 있다.

5.2 연료전지에 대한 DC-DC 컨버터 연구

최근 Li-Ion 기반의 2차전지의 한계에서 벗어나 신재생에너지로서 연료전지에 대한 관심이 높아져가고 있다. 연료전지는 그 에너지 밀도의 고집적화와 대전류 특성의 장점을 가지고 있으나 Stack기술의 한계와 낮은 셀 전압의 특성으로서 Boost Converter의 연구가 필요된다고 하겠다.

6. 결론

지금까지 실제 휴대폰내에서 각각의 Regulator들이 어떻게 쓰이고 있고 문제가 되는 것은 무엇이며 그 해결방안으로 무엇이 연구되고 있는지를 알아보았다. 또한 실무적인 환경에서 그 Checklist들을 검토해보았으며 앞으로 지능형 전력관리와 함께 어떤 기술들이 선보일 것인지 고찰해보았다.

이 논문은 한국전자통신연구원의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] Robert W. Erickson, "Fundamentals of Power Electronics", Kluwer Academic, 2001
- [2] A.J. Forsyth and S.V. Mollov, "Modelling and control of DC-DC converters", Power Engineering Journal, October 1998
- [3] Andres Soto, "Analysis of the Buck Converter for Scaling the Supply Voltage of Digital Circuits" IEEE Trans. on Power Electronics, Vol.22, No. 6, November 2007
- [4] Wan-Rone Liou, "A High Efficiency Dual-Mode Buck Converter IC for Portable Application" IEEE Trans. on Power Electronics, Vol.23, No. 2, March 2008
- [5] Jaeha Kim, "An Efficiency Digital Sliding Controller for Adaptive Power-Supply Regulation," IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 37, No. 5, May 2002
- [6] Jee-Hoon Jung, "A Study on the Reduction of Standby Power Consumption for Multiple Output Converters", 전력전자학회 논문지 제 12권 제 6호, 2007년 12월
- [7] Jason T. Stauth, "Power Supply Rejection for RF Amplifiers: Theory and Measurements", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol.55, No.10, October 2007
- [8] <http://www.qualcomm.com/>