

# 첨단 컨버터로 구현하는 배터리 구동 의료용 계측기

## Advanced Converters Enable Battery-Powered Medical Instrumentation

저전력의 정밀 부품은 휴대형 및 무선 의료용 계측기의 급격한 성장을 가져왔다. 그러나 이러한 유형의 의료용 제품은 다른 많은 애플리케이션과 달리 통상 신뢰성과 사용 시간, 견고성에 대한 훨씬 높은 표준을 갖는다. 이와 같은 요구의 많은 부분은 전력 시스템과 그 부품에 반영되고 있다.

글/토니 암스트롱(Tony Armstrong), LTC

저전력의 정밀 부품은 휴대형 및 무선 의료용 계측기의 급격한 성장을 가져왔다. 그러나 이러한 유형의 의료용 제품은 다른 많은 애플리케이션과 달리 통상 신뢰성과 사용 시간, 견고성에 대한 훨씬 높은 표준을 갖는다. 이와 같은 요구의 많은 부분은 전력 시스템과 그 부품에 반영되고 있다. 의료용 제품은 AC 주 전원, 배터리 백업, 심지어 하베스팅 에너지 소스를 포함한 다양한 전원에서 적절히 동작해야 하며, 이들 전원 간에 매끄럽게 전환해야 한다. 뿐만 아니라 장시간에 걸쳐 다양한 오류 조건으로부터 견디고 보호되어야 하며, 배터리 구동 시 동작 시간을 극대화하고, 유효 전원이 존재할 경우 항상 신뢰할 수 있는 정상적인 시스템 동작을 보장해야 한다.

현재 휴대형 및 무선 의료용 계측기의 성장을 촉진하는 주요 동향 중 하나는 환자 관리이다. 특히 환자의 가정에서 원격 모니터링 시스템의 사용이 증가하고 있다. 이러한 증가의 주된 원인은 전적으로 경제적 측면에서 환자를 병원에 계속 입원시키는 비용이 감당할 수 없는 수준으로 높기 때문이다. 따라서 이러한 휴대형 전자 모니터링 시스템은 대부분 환자의 모니터링 시스템으로부터 수집된 모든 데이터를 즉시 병원의 관리 시스템에 직접 전송할 수 있도록 RF 송신기를 통합하고 있으며, 이렇게 전송된 데이터는 이후에 담당 의사의 검토와 분

Low power precision components have enabled the rapid growth of portable and wireless medical instruments. However, unlike many other applications, these types of medical products typically have much higher standards for reliability, run-time and robustness. Much of this burden falls on the power system and its components. Medical products must operate properly and switch seamlessly between a variety of power sources such as an AC mains outlet, battery back-up and even harvested ambient energy sources. Furthermore, great lengths must be taken to protect against, as well as tolerate various fault conditions, maximize operating time when powered from batteries and ensure that normal system operation is reliable whenever a valid power source is present.

One of the current key trends fueling growth in the portable and wireless medical instrumentation is patient care. Specifically, this is the increased use of remote monitoring systems within the patient's home. The primary impetus for this trend is purely economic in nature? the costs of keeping a patient in a hospital are simply becoming too prohibitive. As a consequence, many of these portable electronic monitoring systems must incorporate RF transmitters so that any data gathered from the patient

식을 받는다.

위의 경우와 같이 가정에서 사용하기 위해 환자에게 적절한 의료용 계측기를 제공하는 비용은, 같은 목적으로 환자를 병원에 입원시키는 비용에 의해 상쇄되는 것보다 크다고 볼 수 있다. 그러나 무엇보다 중요한 것은 환자가 사용하는 의료기기는 신뢰성이 높아야 할 뿐 아니라 안전해야 한다는 점이다! 따라서 이러한 의료기기 제조업체와 설계자는 제품이 백업 소스를 포함한 다양한 전원 소스에서 매끄럽게 동작하고, 환자로부터 수집된 데이터가 높은 신뢰성을 갖는 것은 물론 99.999% 무결성의 무선 데이터 전송을 보장해야 한다. 이는 시스템 설계자가 전력 관리 아키텍처를 견고하고 유연하면서 작고 효율적으로 구현해야 한다는 것을 의미한다. 이와 같은 방식으로 병원과 환자의 요구는 만족된다.

다행히 다수의 아날로그 업체들이 제품 혁신과 전문 지식으로 이러한 문제를 해결하는 솔루션을 내놓고 있다. 의료용 전자 시스템의 많은 애플리케이션은 주 전원의 작동이 중단되어도 전원을 계속 공급 받아야 하기 때문에 낮은 무부하 전류로 배터리 수명을 연장하는 것이 핵심적인 요구사항이다. 이에 따라 보통 10 $\mu$ A 미만의 무부하 전류를 갖는 스위칭 레귤레이터를 필요로 하며, 실제로 배터리와 주 전원 소스로 에너지 하베스팅을 결합해 동작하는 새로운 일부 시스템은 한 자릿수의 마이크로 암페어 범위의 무부하 전류를 필요로 하며, 심지어 나노 암페어 수준까지 요구하기도 한다. 이것은 “가정에서 사용하는” 환자용 의료 전자 시스템에 적용하기 위한 필수적인 선결 조건이다.

스위칭 레귤레이터는 선형 레귤레이터보다 많은 잡음을 발생시키지만, 효율은 훨씬 높다. 많은 민감한 애플리케이션에서도 스위치가 예측 가능한 방식으로 동작할 때에는 잡음과 EMI 수준을 관리할 수 있다는 것이 검증되었다. 만약 스위칭 레귤레이터가 정상 모드에서 정주파수 스위칭을 구현하고 오버슛이나 고주파 링잉 현상 없이 스위칭 에지가 깨끗하고 예측 가능하면 EMI가 최소화된다. 소형 패키지 크기와 높은 동작 주파수는 작고 조밀한 레이아웃을 제공할 수 있으며, 이는 EMI 방사를 최소화한다. 또한 레귤레이터를 낮은 ESR 세라믹 커패시터와 함께 사용할 수 있다면, 시스템에 추가적

monitoring systems can readily be sent directly back to a supervisory system within the hospital where it can be later reviewed and analyzed by the governing physician.

Given the above scenario, it is reasonable to assume that the cost of supplying the appropriate medical instrumentation to the patient for home use is more than offset by the costs of keeping them in the hospital for these same purposes. Nevertheless, it is of paramount importance that the equipment used by the patient be not only reliable but patient-proof! As a result, the manufactures and designers of these products must ensure that they can run seamlessly from multiple power sources (including backup sources) and have high reliability of the data collected from the patient, as well as 99.999% integrity of the wireless data transmission. This requires the system designer to ensure that the power management architecture to be used is not only robust and flexible, but also compact and efficient. In this manner, the needs of the hospital and those of the patient are copacetic.

Fortunately, there are a number of Analog companies which focus on bringing solutions to these problems with product innovation and expertise. Since there are many applications in medical electronic systems that require continuous power even when the mains supply is interrupted; a key requirement is low quiescent current to extend battery life. Accordingly, switching regulators with standby quiescent current less than 10 $\mu$ A are usually needed. In fact, some of the new systems that are run on a combination of a battery and energy harvesting as their main power sources, require their quiescent currents to be in the single digit micro-amps range, or in some case, even nano-amps. This is a necessary prerequisite for adoption in such “home use” patient medical electronic systems.

Although switching regulators generate more noise than linear regulators, their efficiency is far superior. Noise and EMI levels have proven to be manageable in many sensitive applications as long as the switcher behaves predictably. If a switching regulator switches at a constant

인 잡음원이 되는 입력과 출력 전압 리플을 모두 최소화 할 수 있다.

오늘날 기능이 풍부한 환자 모니터링 의료기기에 들어가는 전원 레일의 수는 증가하고 있지만, 동작 전압은 계속 감소하고 있다. 그러나 많은 의료 시스템은 여전히 저전력 센서, 메모리, 마이크로컨트롤러 코어, I/O 및 로직 회로의 구동을 위해 3V, 3.3V 또는 3.6V 레일을 필요로 한다. 더욱이 이들 레일의 동작은 종종 핵심적이기 때문에 많은 시스템은 장치에 공급되는 주 전원이 고장나는 경우에 대비해 배터리 백업 시스템을 갖추고 있다.

전통적으로 이러한 전압 레일은 스텝다운 스위칭 레귤레이터 또는 저전압 강하 레귤레이터를 통해 전원을 공급받았다. 그러나 이러한 종류의 IC는 배터리 셀의 전체 동작 범위를 이용하지 못하기 때문에 디바이스의 잠재적 배터리 사용 시간을 단축시킨다. 이와 달리 전압을 스텝업 또는 스텝다운 할 수 있는 벡-부스트 컨버터를 사용할 경우 배터리의 전체 동작 범위를 이용할 수 있으므로 동작 마진을 증가시키고 특히 방전 프로파일의 낮은 쪽에 가까워질 때 배터리 수명을 더 오래 사용할 수 있게 하므로 배터리 사용 시간을 증가시킨다.

앞에서 언급한 관련된 문제뿐 아니라 일차전지 시스템 애플리케이션 요구사항을 만족하는 DC/DC 컨버터 솔루션은 다음과 같은 특성을 갖춰야 한다.

- 넓은 입력 전압 범위를 갖고 다양한 배터리 전원과 관련된 전압 범위에서  $V_{OUT}$ 를 레귤레이트 하는 벡-부스트 DC/DC 아키텍처
- 동작 모드와 셧다운 시 모두 매우 낮은 무부하 전류로 배터리 동작 시간 연장
- 효율적인 시스템 레일 구동
- IC 무부하 전류(배터리 소모)에 거의 영향을 미치지 않으면서 정확한 쿨롱 계수 측정으로 남은 배터리 충전 상태를 결정
- 돌입 전류를 감소하는 전류 제한으로 배터리 보호
- 작고 가벼운 로우 프로파일 솔루션 폼팩터
- 열 성능과 공간 효율을 향상시키는 첨단 패키징

이러한 요구에 부응하기 위해 리니어 테크놀로지에서는 최근 쿨롱 카운터를 통합한 나노전력 LTC3335

frequency in normal mode, and the switching edges are clean and predictable with no overshoot or high frequency ringing, then EMI is minimized. A small package size and high operating frequency can provide a small tight layout, which minimizes EMI radiation. Furthermore, if the regulator can be used with low ESR ceramic capacitors, both input and output voltage ripple can be minimized, which are additional sources of noise in the system.

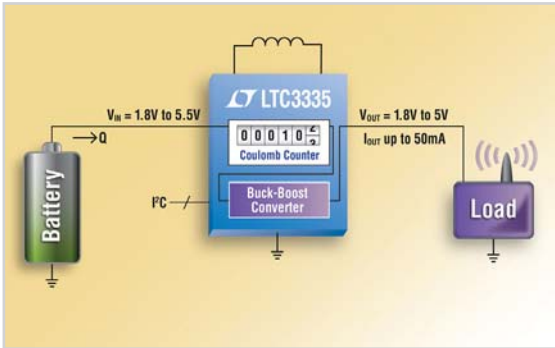
The number of power rails in today's feature-rich patient monitoring medical devices has increased while operating voltages have continued to decrease. Nevertheless, many of these systems still require 3V, 3.3V or 3.6V rails for powering low power sensors, memory, microcontroller cores, I/O and logic circuitry. Furthermore, since their operation is sometimes critical, many of them have a battery back-up system should the main power supply to the unit fail.

Traditionally their voltage rails have been supplied by step-down switching regulators or low-dropout regulators. However, these types of ICs do not capitalize on the battery cell's full operating range, thereby shortening the device's potential battery run time. Therefore, when a buck-boost converter is used (it can step voltages up or step them down) it will allow the battery's full operating range to be utilized. This increases the operating margin and extends the battery run time as more of the battery's life is usable, especially as it nears the lower end of its discharge profile.


It is clear that any DC/DC converter solution that solves the primary cell system application requirements, as well as the associated issues already discussed, should have the following attributes:

- A buck-boost DC/DC architecture with wide input voltage range to regulate  $V_{OUT}$  through a variety of battery-powered sources and their associated voltage ranges
- Ultralow quiescent current, both in operating mode and shutdown, to increase battery run time
- The ability to efficiently power system rails
- Capably count coulombs accurately without significantly

그림 1. 쿨롱 카운터를 통합한 LTC3335 벡-부스트 컨버터



벡-부스트 컨버터를 선보였다. LTC3335는 매우 낮은 무부하 전류를 필요로 하면서 배터리 잔량을 정확히 측정해야 하는 일차전지 애플리케이션을 위해 설계되었다. 또한 시스템 오류에 대한 검사에 쿨롱 카운터를 이용해 잠재적 배터리 구성요소나 부하 누설을 검출할 수 있다(그림 1 참조).

LTC3335는 최대 50mA 연속 출력 전류를 공급할 수 있는 정밀한 쿨롱 카운터를 내장한 나노전력 고효율 동기 벡-부스트 컨버터이다. 단 680nA의 무부하 전류와 최저 5mA에서부터 최대 250mA까지 프로그래밍 가능한 피크 입력 전류를 갖는 이 디바이스는 배터리 백업 휴대형 건강 모니터링 시스템에 사용되는 것과 같은 다양한 저전력 배터리 애플리케이션에 이상적이다. 디바이스의 1.8V~5.5V 입력 범위와 1.8V~5V 사이에서 사용자가 선택할 수 있는 8개 출력은 레귤레이트 된 출력 전원에 출력보다 높거나 낮거나 같은 입력 전압을 제공한다. 이 밖에 디바이스는 ±5% 배터리 방전 측정 정확도의 정밀한 쿨롱 카운터를 통합하고 있어 많은 경우 극히 평탄한 방전 곡선을 갖는 긴 수명의 재충전이 불가능한 배터리 구동 애플리케이션에서 누적된 배터리 방전을 정확히 모니터링한다. LTC3335는 4개의 낮은  $R_{DS(ON)}$  MOSFET을 내장하고 있으며, 최대 90% 효율을 제공할 수 있다. 그 밖에 프로그래밍 가능한 방전 경보 임계값, 쿨롱 계수 액세스 및 디바이스 프로그래밍을 위한 I<sup>2</sup>C 인터페이스, Power Good 출력을 갖추고 있으며, 5mA에서부터 최대 250mA까지 선택 가능한 8가지 피크 입력 전류가 제공돼 광범위한 배터리 유형과 크기를 수용할 수 있다. 

affecting IC quiescent current (battery consumption), to determine remaining battery state of charge

- Current limiting for attenuating inrush currents thus protecting the cells
- Small, lightweight and low profile solution footprints
- Advanced packaging for improved thermal performance and space efficiency

It was for these reasons that Linear Technology recently introduced the nanopower LTC3335 buck-boost converter with integrated coulomb counter. The device was designed for primary battery applications that need really low quiescent current and also need to know something about remaining battery capacity. Or, where potential battery component or load leakage may be detected by the coulomb counter as a check for system faults. See **Figure 1**.

The LTC3335 is a nanopower high efficiency synchronous buck-boost converter with an onboard precision coulomb counter that delivers up to 50mA of continuous output current. With only 680nA of quiescent current and programmable peak input currents from as low as 5mA up to 250mA, the device is ideally suited for a wide variety of low power battery applications, such as those found in battery backed up portable health monitoring systems. Its 1.8V to 5.5V input range and 8 user-selectable outputs between 1.8V and 5V provide a regulated output supply with an input voltage above, below or equal to the output. In addition, the device's integrated precision (±5% battery discharge measurement accuracy) coulomb counter provides accurate monitoring of accumulated battery discharge in long-life non-rechargeable battery-powered applications which in many cases have extremely flat battery discharge curves. The LTC3335 includes four internal low  $R_{DS(ON)}$  MOSFETs and can deliver efficiencies of up to 90%. Other features include a programmable discharge alarm threshold, an I<sup>2</sup>C interface for accessing coulomb count and device programming, a Power Good output, and 8 selectable peak input currents from 5mA up to 250mA to accommodate a wide range of battery types and sizes. 