

## 제2의 도약을 맞는 배터리 스택 관리

전기자동차, 웨어러블 기기와 같은 애플리케이션에서 배터리 관리 시스템은 매우 중요하다. 특히 배터리 관리 시스템의 심장부라 할 수 있는 멀티셀 배터리 모니터 장치에 대해 살펴보는 것은 상당히 흥미로운 일일 것이다. 따라서 이 글에서는 4세대에 걸친 리니어 테크놀로지의 멀티셀 배터리 모니터의 발전상과 최신 멀티셀 배터리 모니터 LTC6811에 대해 알아본다.

그렉 짐머 리니어 테크놀로지

전기 자동차의 상용화 가능성에 대해 제기되던 의문은 오래 전에 잠잠해졌다. 이제 가능성에 대한 질문보다 “이러한 새로운 고전력 배터리 기술이 얼마나 멀리, 얼마나 광범위하게, 그리고 얼마나 깊게 침투할 것인가?”에 대한 질문이 주요 쟁점이 됐다. 하지만, 이에 대한 문제는 그 누구도 확실히 대답할 수 없을 것이다.

하지만 배터리 관리 시스템(BMS), 특히 그 중에서도 심장부에 있는 멀티셀 배터리 모니터 장치의 발달을 살펴보는 것

은 흥미로운 주제가 될 것이다. 그러한 과정에서 배터리 백업 시스템에서부터 입는 웨어러블 수트에 이르기까지 다양한 애플리케이션에서 고전압 배터리 팩이 어느 정도 적용될지 단서를 얻게 될지 모른다. 다음에서는 한 제품군에서 전개된 발전을 안전, 정확도, 기능, 및 개발 툴 지원 측면에서 살펴보기로 한다.

2008년에 리니어 테크놀로지는 최초의 고성능 멀티셀 배터리 모니터 LTC6802를 발표했다. 이 제품의 주요 특징 가운데 하나는 최대 12개 리튬이온(Li-Ion) 셀을

0.25%의 최대 전체 측정 오차로 13ms 내에 측정할 수 있는 기능을 제공한다는 것이다. 이 외에 멀티셀 배터리 모니터의 주요 기능은 많은 셀을 직렬로 연결함으로써 매우 긴 고전압 배터리 스트링의 모든 셀에 대해 동기화된 모니터링이 가능하다는 것이다(그림 1).

이후 리니어 테크놀로지는 LTC6803, LTC-6804를 잇따라 내놓았으며 현재 가장 앞선 멀티셀 배터리 모니터 LTC6811을 선보이고 있다. 이들 4종의 부품은 모두 기본적으로 동일한 기능을 수행하는데, 12개의 직렬로 연결된 셀에서 각 배터리 셀의 전압을 측정한다. 이 제품군의 발전을 따라가 보면 기능적 안전, 측정 정확도, 통합 기능에서 지속적인 향상을 추적해볼 수 있다.

배터리 모니터 장치의 가장 극적인 진전은 ISO

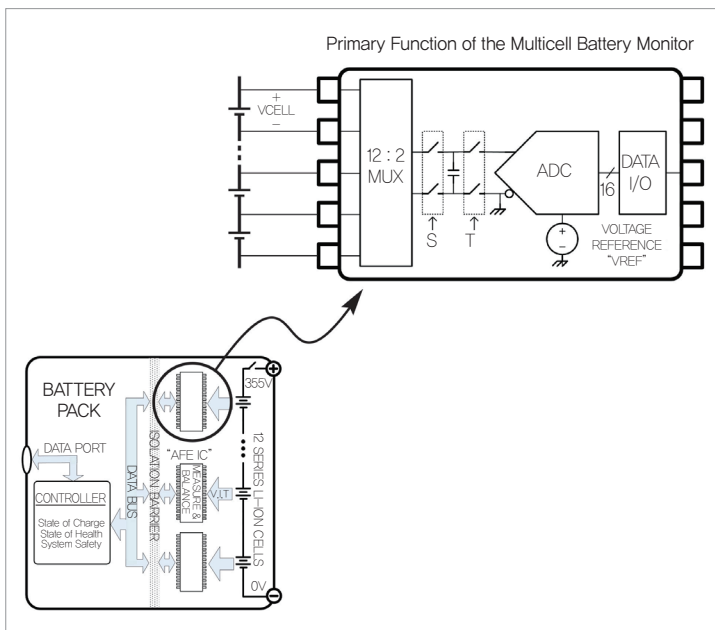


그림 1. 간략화한 멀티셀 배터리 모니터 설명

ISO 26262 표준에 의해 기능적 안전이 보장된 것을 들 수 있다. ISO 26262는 자동차에서 전자 및 전기 시스템의 오작동 특성으로 인해 야기될 수 있는 잠재적 위험을 체계적으로 규정하고 있다.

ISO 26262 표준은 제품 개발과 사용에 대한 거의 모든 측면을 포함하고 있지만, 시스템 설계자는 안전에 영향을 미칠 수 있는 모든 요소의 적절한 동작을 어떻게 지속적으로 확인할 것인가에 초점을 맞춰야 한다. 배터리 셀의 부정확한 전압은 잠재적 문제를 가장 먼저 알려주는 역할을 하므로 멀티셀 배터리 모니터는 이러한 작업에서 핵심적인 역할을 한다. 이것은 중요한 설계 과제를 제시할 수 있다.

리니어 테크놀로지는 까다로운 아날로그 전자장치 문제에 단호히 대처해 오고 있으며, 자동차 전자장치도 또한 예외는 아니다. 멀티셀 배터리 모니터는 고전압, 극한 온도, 핫 플러그, 전기적 잡음으로 둘러싸인 환경에서 수년 간 동작하면서 높은 신뢰성, 안정성, 높은 측정 정확도를 달성해야 한다. ISO 26262 표준은 한 단계 더 나아가 무엇보다 잠재적 고장에 대한 분석과 해결을 요구한다. 잠재적 고장의 인식과 해결을 위해 전자장치 내부에서 구현되는 일반적 방법은 자기 테스트 기능과 리던던시(redundancy)를 포함하는 것이다.

## LTC6811, 290μsec의 속도로 12개 배터리 셀 측정

ISO 26262가 발표되기 전에도 리니어 테크놀로지는 기능적 안전에 대한 중요성을 인식하고 LTC6802에 자기 테스트 기능과 내부 리던던시를 포함시켰다. 멀티셀 배터리 모니터는 세대를 거듭하면서 이러한 기능이 추가되고 향상되었다. 최신 디바이스 LTC6811은 이러한 발전을 계속 이어나가 내부 진단 범위를 증가시키도록 향상되었다. 이러한 기능에는 추가적 리던던트 측정 경로, 입력 신호 간 향상된 동기화, 향상된 자기 테스트 정확도 등이 포함된다. 그 결과 더 빠르고 간단하고 효율적인 자기 테스트로 설계자는 보다 쉽게 ISO 26262 목표를 만족할 수 있다. 자동차 이외의 애플리케이션에서도 이러한 특징으로 인해 설계자가 어떤 고신뢰성 애플리케이션을 목표로 하든지 확신을 갖을 수 있다.

리니어 테크놀로지 제품은 셀 측정 정확도를 꾸준히 향상

시키고 혁신시켜왔다. 잠재적인 측정 오차는 배터리 관리 효율성을 떨어뜨리고 궁극적으로 팩 용량, 신뢰성 및 수명을 저하시킬 수 있기 때문에 높은 정확도를 추구하는 것은 항상 핵심적인 설계 목표였다.

이때 내장 기준 전압은 측정 오차를 결정하는 주된 요소이므로 이를 최적화하기 위해 많은 노력을 기울였다. 최초의 리니어 테크놀로지 멀티셀 배터리 모니터는 밴드갭 기준 전압을 통합했다.

밴드갭 기준은 소형, 저전력, 낮은 드롭아웃 특성을 갖고 있어 당시 일반적인 선택이었다. 그러나 밴드갭 기준은 스트레인 게이지처럼 동작함으로써 PCB 어셈블리의 기계적 응력과 열 변형, 습도, 장기적 드리프트가 측정 가능한 오차로 전환될 수 있다.

이러한 한계를 극복하기 위해 리니어 테크놀로지는 설계에 전용 하위 표면 제너 기준 전압을 추가하여 고유의 방식을 적용하기 시작했다. 이 기준 전압은 온도, 시간 및 기타 동작 조건에서 탁월한 안정성을 제공한다. 그 결과 현재 LTC6811은 모든 배터리 셀을 최악 조건에서도 오차가 1.2mV를 넘지 않는 성능을 제공한다(그림 2).

뿐만 아니라 리니어 테크놀로지 제품은 각 배터리 셀 전압의 잡음을 필터링함으로써 잡음이 있는 경우에도 탁월한 측정 정확도를 보장한다. 이는 다른 방식에서 주로 사용되는 고속 SAR 컨버터 대신 델타-시그마 아날로그-디지털 컨버터를 사용하여 구현된다.

다시 한 번 리니어 테크놀로지는 수백 개의 개별 배터리 셀

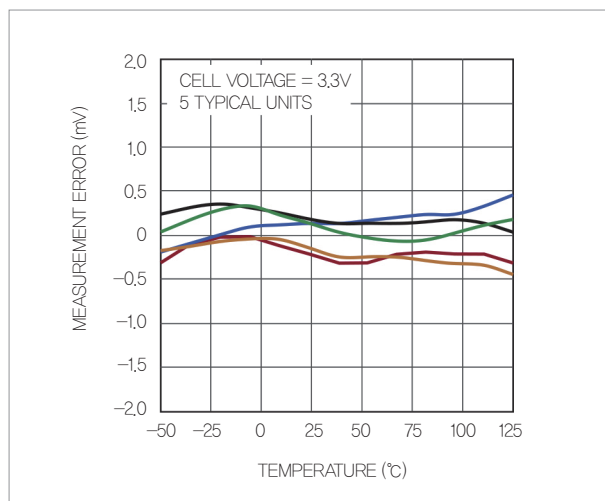


그림 2. 매립형 제너 기준 전압의 탁월한 온도 드리프트 성능

측정 시 SAR 컨버터가 갖는 명백한 속도 이점에도 불구하고 독자적인 방식을 채택했다. 이러한 선택을 한 이유는 자동차 환경은 모터, 솔레노이드, 전력 인버터 등에서 발생하는 잡음과 과도 상태로 둘러싸여 있기 때문이다.

이러한 모든 잡음은 측정 정확도에 영향을 미친다. 델타-시그마 컨버터를 사용할 경우 입력은 변환 과정에서 많은 횟수에 걸쳐 샘플링된 다음 평균화된다. 결과는 저역 통과 필터링에 구현되어 측정 오차의 원인으로서 잡음을 제거하고,

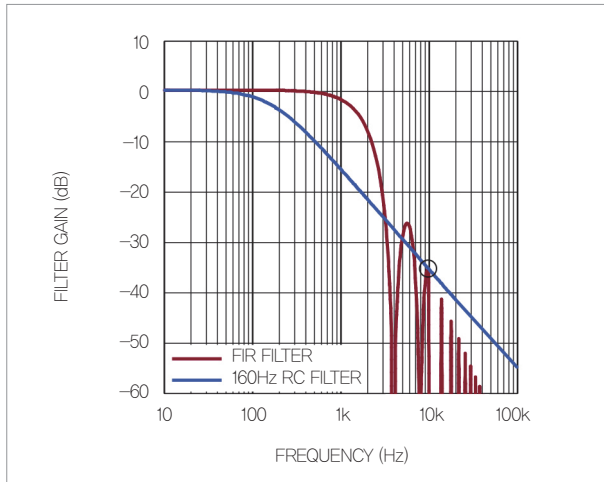


그림 3. LTC6802 델타-시그마 컨버터와 RC 회로를 갖는 SAR 컨버터 비교

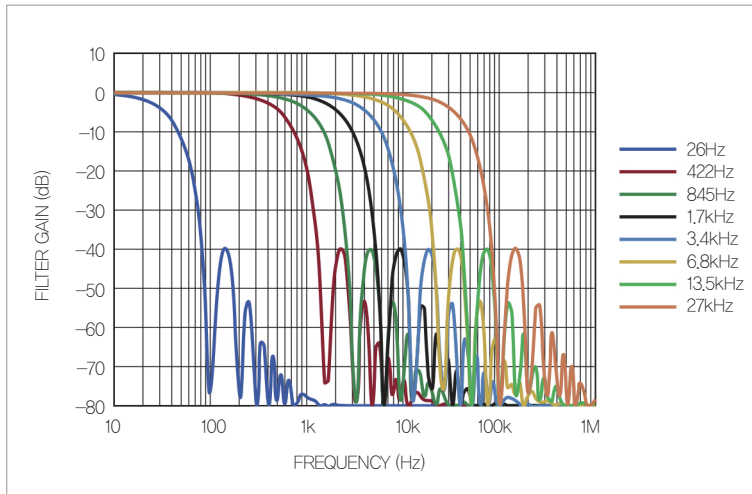


그림 4. LTC6811 델타-시그마 컨버터

샘플링 레이트에 의해 컷오프 주파수가 확정된다.

예를 들어 LTC6802는 초당 고정 1k 샘플로 동작하는 2차 델타-시그마를 사용한다. 결과적으로 10kHz 스위칭 잡음에 대해 36dB 제거를 달성한다(그림 3).

그러나 트레이드 오프로, LTC6802에서 12개 셀을 측정하는 경우 13msec를 필요로 하며, 이는 일부 애플리케이션에서는 너무 느릴 수 있다<sup>주 1)</sup>. 그럼에도 델타-시그마 컨버터는 잡음이 있는 실제 환경에서 정확한 셀 측정을 달성하는 가장 실용적인 방법이다.

이러한 이유로 리니어 테크놀로지는 지속적으로 델타-시그마 방식을 향상시켜왔다. 현재 LTC6811은 훨씬 빠른 3차 델타-시그마 ADC를 사용하며, 프로그래밍 가능한 샘플 레이트와 8가지 선택 가능한 컷오프 주파수를 제공한다. 그 결과 뛰어난 잡음 감소와 8가지 프로그래밍 가능한 측정 레이트를 구현하며(그림 4), 290μsec의 빠른 속도로 모든 12개 배터리 셀을 측정할 수 있다.

마지막으로, 멀티셀 배터리 모니터의 기능이 얼마나 확장되었는지 살펴보기로 한다. 앞서서도 언급했듯이 멀티셀 배터리 모니터가 수행하는 주된 작업은 셀 전압을 정확히 측정하고, 이러한 정보를 호스트 프로세서에 전달하는 데 있다.

멀티셀 배터리 모니터는 소프트웨어를 내장할 경우 시스템 레벨 배터리 관리와 충돌을 일으킬 수 있기 때문에 소프트웨어를 포함하지 않는 것이 가장 좋다. 따라서 모든 셀에서 데이터를 수집하고, 충전 상태 또는 노화 상태를 결정하는 것은 주 BMS 프로세서에 의해 수행되어야 한다. 또한 멀티셀 배터리 모니터는 배터리 시스템에서 가장 핵심적인 위치에 상주하면서 셀과 직접 연결된다. 전류나 온도는 다른 배터리 센서를 모니터링하고 이러한 값을 셀 측정과 밀접하게 연관시키는 데 이상적인 위치이다. 이러한 이유로 멀티셀 배터리 모니터는 BMS 마이크로프로세서와 주변장치

주 1) SAR ADC 토폴로지는 빠른 데이터 변환을 제공하지만, 잡음이 있는 시스템에서 데이터 결과의 유용성은 의문스럽다. LTC6802와 동일한 수준에서 10kHz 잡음 제거를 얻으려면, 초당 1M 샘플 SAR 컨버터는 160Hz 코너 주파수에서 각각의 셀에 단일 극 RC 필터를 필요로 한다(그림 3). RC 필터의 12비트 안정화 시간은 8.4msec이다. 따라서 SAR 컨버터는 10μsec에 10 채널을 시퀀싱할 수 있지만, 8.4msec마다 한 번 이상 수행되는 스캐닝은 필터의 응답으로 인해 의미가 없다.

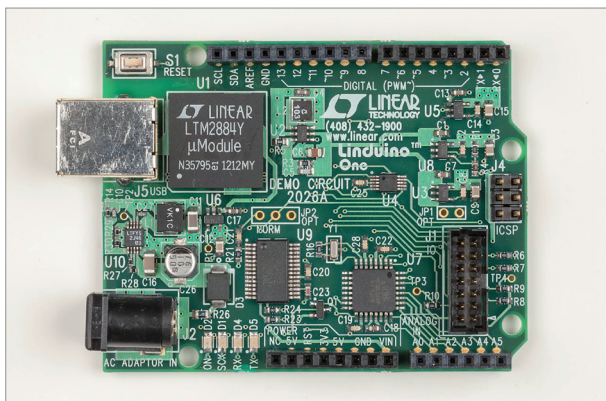


그림 5. Linduino 개발 시스템

간의 중앙 허브로 동작할 수 있다.

예를 들면 LTC6811은 디지털 입력, 디지털 출력 또는 아날로그 입력으로 동작할 수 있는 매우 유연한 범용 I/O를 제공한다. 아날로그 입력으로 동작하는 경우 LTC6811은 셀 측정과 동일한 측정 정확도로  $V^- \sim 5V$  범위의 모든 전압을 측정할 수 있으며, 그런 후에 외부 신호나 전체 12셀 스택 전압을 셀 전압 측정과 동기화할 수 있다.

다른 방법으로 범용 I/O를 디지털 모드에서 사용하여 I2C 또는 SPI 슬레이브 디바이스를 제어할 수 있다. 이렇게 하면 LTC6811은 확장된 아날로그 입력을 위한 멀티플렉서 또는 캘리브레이션 정보를 저장하는 EEPROM 같은 보다 복잡한 기능을 제어할 수 있다.

LTC6811은 첨단 셀 밸런싱 기능을 제공한다. SPI 마스터 기능을 사용하면 리니어 테크놀로지의 SPI-기반 능동 밸런싱 IC인 LTC3300을 제어할 수 있다. 또한 개별 셀을 방전할 수 있는 내장 수동 밸런싱 FET를 포함하고 있으며, 아니면 보다 높은 고전력 외부 FET를 직접 제어할 수 있다.

이 외에 각각의 셀 방전 핀을 독립적 시간으로 동작하도록 구성할 수 있다. 이렇게 하면 멀티셀 배터리 모니터가 작동하지 않는 동안 각각의 셀을 장기간에 걸쳐 고유하게 밸런싱할 수 있다.

마지막으로, 각 수동 밸런싱 핀은 직렬 인터페이스로 사용할 수 있다. 이것은 특히 능동 밸런싱을 제어하고 각각의 개별 배터리 셀에 대해 전류와 온도를 모니터링할 수 있는 리니어 테크놀로지의 LT8584 모듈리식(monolithic) 능동 셀 밸런서에 연결하여 사용하는데 유용하다.

이러한 모든 기능을 통합하고 개발 시간을 단축할 수 있도

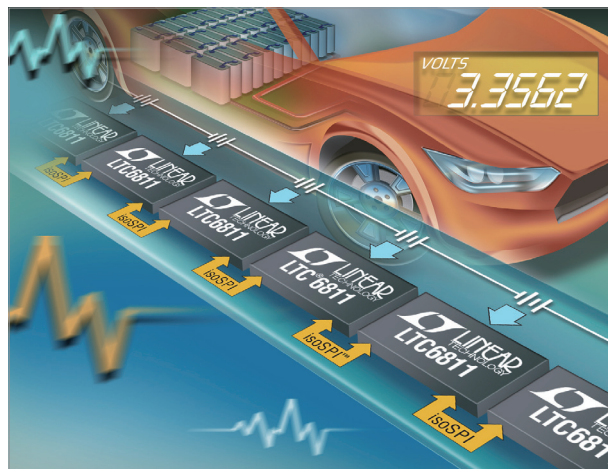


그림 6. 4세대 멀티셀 배터리 모니터, LTC6811

록 LTC6811은 리니어 테크놀로지의 Linduino™ One에 의해 완벽하게 지원된다(그림 5). Linduino One은 아두이노(Arduino Uno)와 호환되는 마이크로컨트롤러 보드로서, 완전히 USB 절연되며 LTC6811 데모 보드에 직접 연결할 수 있다. 이 플랫폼은 빠른 인서킷 펌웨어 업데이트를 위한 온보드 부트로더와 함께 간단하고 안정적인 하드웨어 개발 플랫폼을 제공한다.

아두이노는 오픈 소스 플랫폼이므로, BMS 설계자는 단순히 강력한 아두이노 통합 개발 환경(IDE)에 쉽게 액세스할 수 있다. bmsSketchbook라는 이름의 코드 라이브러리는 모든 표준 C 컴파일러에서 컴파일할 수 있게 설계된 LTC6811 샘플 코드를 제공한다. 예를 들어 bmsSketchbook는 구성 읽고 쓰기, 셀 전압 읽고 쓰기, 자기 테스트와 리턴던시 테스트 실행, 그리고 수동 밸런싱을 제어하는 루틴을 포함하고 있다.

☆

2008년부터 리니어 테크놀로지는 4세대에 걸친 멀티셀 배터리 모니터를 선보였다. 이들 디바이스의 안전 기능, 정확도 및 기능은 세대를 거치면서 크게 향상되었으며, 고성능 배터리 관리에서 IC의 증가하는 중요성을 잘 보여주고 있다. 새로운 톨은 최종 애플리케이션과 관계없이 배터리 관리 시스템으로 간편하고 표준화된 통합을 제공한다.

리니어 테크놀로지의 최신 멀티셀 배터리 모니터 LTC6811은 그림 6에서 보듯이 실제적인 모든 고전압, 고전력 배터리 시스템을 위한 탁월한 기능 세트를 제공한다.

