

Application Brief

고전압 BMS로 안전성과 배터리 수명을 개선하는 원리

BESS(배터리 에너지 저장 시스템)는 주택, 상업, 산업 및 그리드 에너지 저장 관리에 중요한 역할을 합니다. 최신 BESS에서 BMS(배터리 관리 시스템)는 배터리 팩의 두뇌 역할을 하여 전압, 전류, 온도와 같은 매개 변수를 모니터링하고, 충전 상태(남은 가용 에너지를 평가)와 성능 상태(배터리 셀의 전반적인 상태와 노화 정도를 평가)에 대한 인사이트를 제공합니다. BMS는 배터리 모니터링 정확도를 강화하고 시스템 수준 안전성을 높임으로써 효율적인 에너지 사용을 유지하도록 돕고 배터리 성능이 일찍 저하되지 않도록 하여 BESS 수명을 늘립니다.

배터리 모니터링 정확도 보장

배터리 팩 모니터는 셀 전압 측정의 정확도를 높일 뿐만 아니라 충전 상태 추정과 과전압 보호 성능을 개선할 수도 있습니다. 충전 상태 알고리즘 및 기타 고전압 시스템 진단에는 팩 전압과 전류에 대한 정확한 보고서도 필요합니다.

LiFePO₄(리튬 철 인산염) 배터리는 높은 신뢰성과 합리적인 비용으로 인해 BESS에 널리 사용되는 배터리 유형으로, 이러한 배터리에서는 고도로 정확한 측정이 안정적인 작동과 직접적으로 연관됩니다. LiFePO₄ 배터리의 전압 프로파일은 실제 사용 용량의 대부분에서 충전과 방전 곡선이 대체로 평평하다는 특징을 지니고 있습니다. 이로 인해 방전 종료 지점에 도달하기 전까지는 더 안정적인 작동 전압을 유지하다가, 종료 지점에서는 전압이 급격히 떨어집니다. 충전 및 방전 곡선에서 평평한 구간의 작은 전압 변동을 감지하지 못할 경우, 충전 상태 추정의 오류 위험이 높아집니다.

시스템 수준 안전성 강화

배터리 열화에 직접적으로 영향을 미치는 요인으로는 과충전 및 과방전 상태, 고온, 저온, 고충전 전류 등이 있습니다. BMS에 통합된 모니터링 및 보호 제품군을 이용하면 이런 상태가 발생할 위험을 완화할 수 있습니다. 예를 들어 통합형 셀 밸런싱과 같은 기능을 사용하면 셀의 긴밀한 밸런싱을 보장해 전반적인 셀 수명을 크게 늘릴 수 있고, "불균형"하고 약한 셀이 팩 전체에 부담을 주지 않도록 할 수 있습니다. 정밀한 밸런싱과 고도로 정확한 셀 측정을 통해 셀의 작동과 컨디셔닝에 비효율이 발생할 위험을 완화하고, 발생한 비효율을 감지하는 데 도움이 됩니다.

셀 간 변동은 배터리 팩 수명 내내 계속 증가합니다. ESS에서는 패시브 밸런싱만으로는 충분하지 않기 때문에, 액티브 셀 밸런싱 및 액티브 팩 밸런싱을 적용하면 셀 용량이 계속 증가하는 상황에서도 ESS의 수명을 연장하고 수동 유지 관리를 줄일 수 있습니다.

에너지 전송을 위해 양방향 절연 DC/DC를 사용해 팩 간 밸런싱에 액티브 밸런스 설계 방식으로 접근하면 시스템 전체의 활용률을 개선하는 데 도움이 됩니다.

수명 연장

저장 배터리의 주기 수명은 세대를 넘길 때마다 10,000배, 12,000배, 심지어 15,000배까지 늘어납니다. 이렇게 증가하다 보면 언젠가는 제품 수명이 20~25년이 될 가능성이 있습니다. 배터리 수명 연장은 BESS 개발에서 중요한 고려 사항이고, 설계자가 경쟁력 있고 효율적인 제품을 개발하는 데 도움이 됩니다.

애플리케이션 기본 사항

그림 1에 BESS 아키텍처를 표시했습니다. 이 시스템은 전체적인 시스템 접근 방식을 위해 레퍼런스 설계 여러 개로 구성되는 고전압(1,500V) 리튬 이온 및 LiFePO4 기반 배터리 시스템에 사용됩니다.

에너지 저장 시스템용 최대 1,500V의 스택형 배터리 관리 유닛 레퍼런스 설계는 중복 데이터 측정 기능으로 배터리 오류를 탐지하기 위해 BQ78706 배터리 모니터를 스택형으로 활용하는 배터리 관리 유닛 여러 개를 결합합니다.

다음으로, 에너지 저장 시스템용 1,500V 고전압 팩 모니터 유닛 레퍼런스 설계에서는 BQ79731-Q1 팩 모니터를 사용하여 버스 전압과 전류의 탐지 및 측정을 지원하고 중복 데이터 측정 기능도 내장하는 HMU(고전압 모니터링 유닛)를 보여줍니다. BCU(배터리 제어 유닛)가 시스템 스위치를 안정적으로 구동해 시스템 안전성을 유지하는 데 도움이 됩니다.

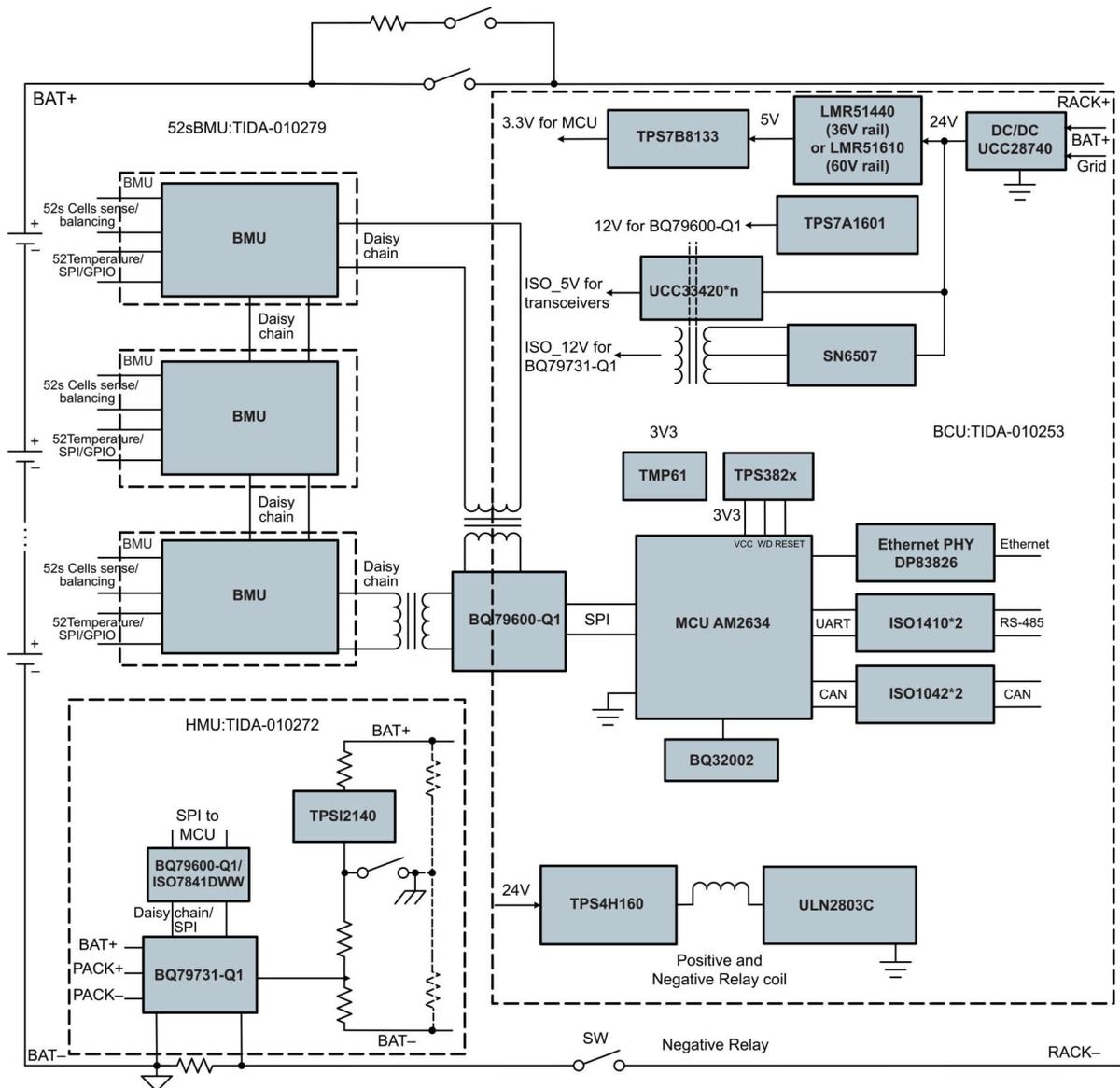


그림 1. BESS 아키텍처의 블록 다이어그램

정확한 셀 감지 및 안정적인 시스템 아키텍처 지원

그림 1에서는 BCU와 HMU의 조합이 안정적인 시스템 안전성 수준을 달성하는 원리를 보여줍니다. HMU의 BQ79731-Q1은 최대 $\pm 3.16\text{mV}$ 의 정확도로 버스 전압을 고도로 정확하게 측정합니다. 이러한 수준의 정확도는 절연 임피던스 측정과 접촉 용접 감지를 위한 보정의 신뢰성과 간편성을 향상시키는 데 도움이 됩니다. 또한 BQ79731-Q1은 연속 샘플링 아날로그-디지털 컨버터를 낮은 게인 오류($\pm 0.065\%$)와 낮은 오프셋($-2.5\mu\text{V} \sim 7.5\mu\text{V}$)과로 결합합니다. BQ79731-Q1이 지원하는 안전성 메커니즘(ASIL(Automotive Safety Integrity Level) D에 상당하는 TI 기능 안전 규격 준수)을 사용하여 전압 및 전류 측정 진단을 수행함으로써, 안정적인 측정 결과를 통해 시스템 수준의 안전성을 확보할 수 있습니다.

그림 2에서는 TI의 에너지 저장 시스템용 배터리 제어 유닛 레퍼런스 설계를 나타냈습니다. 이 설계는 BQ78706 배터리 모니터를 사용해 $-40^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ 에서 $\pm 2.4\text{mV}$ 셀 전압 오류율을 달성합니다. 이 설계는 TMUX 확장과 TMP61 고정확도($-25^{\circ}\text{C} \sim 65^{\circ}\text{C}$ 에서 $\pm 1^{\circ}\text{C}$) 서미스터 센서를 사용해 각 셀 채널의 온도를 측정합니다. BMU에서와 마찬가지로 BQ78706의 통합 안전성 메커니즘(ASIL B에 상당하는 TI 안전 기능 규격 준수)을 사용해 셀 전압 및 온도 진단을 수행하여 안정적인 결과를 얻을 수 있습니다. MSPM0G3519에 기반한 소프트웨어 개발 키트를 이용하면 설계 프로세스가 간소화되어 출시 기간이 단축됩니다.

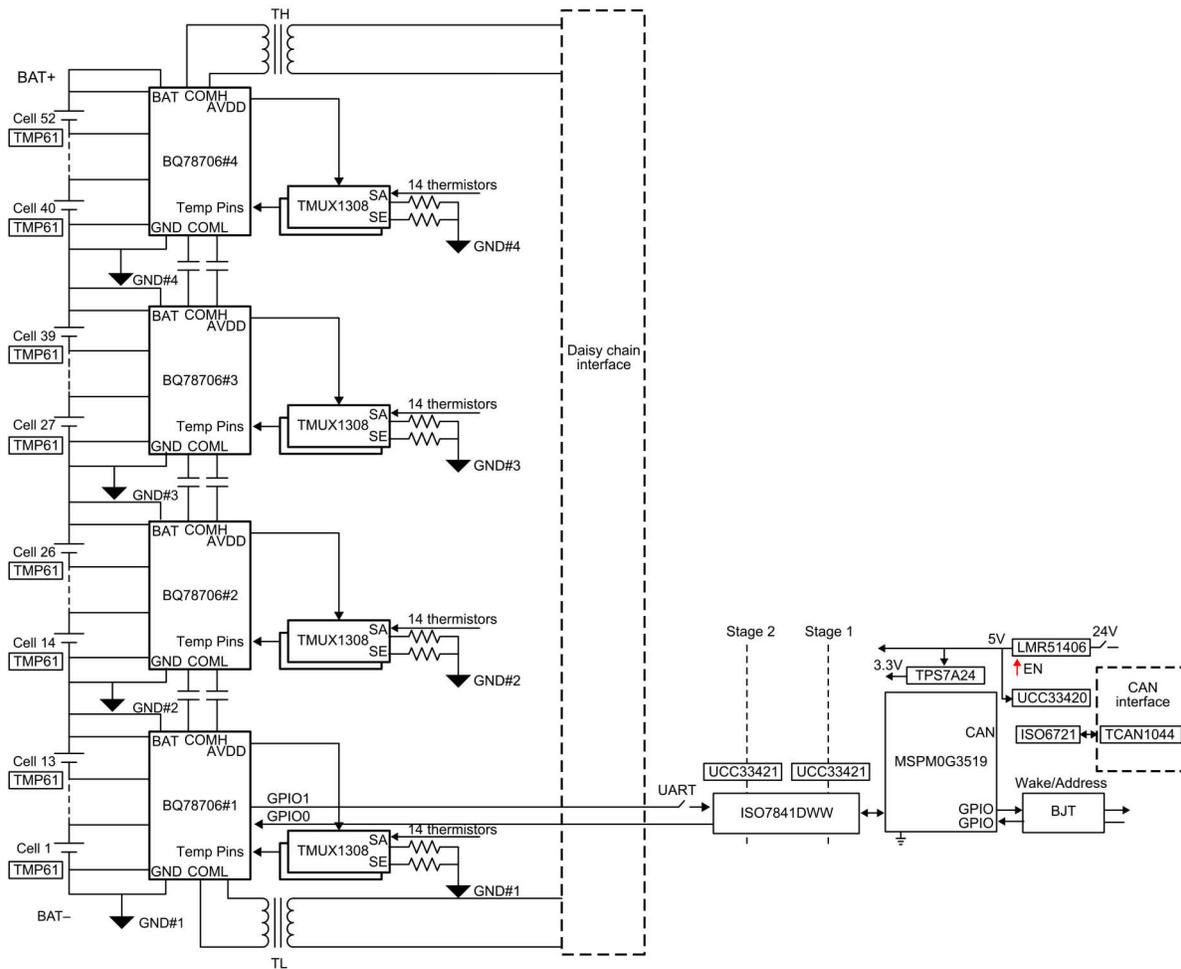


그림 2. 스택형 BMU 아키텍처를 표시한 에너지 저장 시스템 레퍼런스 설계용 배터리 제어 유닛 레퍼런스 설계 다이어그램

이 BMU 및 HMU 설계는 IEC(International Electrotechnical Commission) 62477-2 및 UL(Underwriters Laboratories) 1973 표준의 최대 1,500V까지의 강화된 절연 요구 사항을 준수합니다. 이 설계는 ISO7841 및 UCC33421 과 같은 강화된 아이솔레이터와 함께 사용하거나, 연면이 매우 넓은 변압기와 데이지 체인 방식으로 함께 사용하여 시스템 수준 안전성을 충분히 확보할 수 있습니다.

결론

안전하고 신뢰성 높은 BMS는 ESS가 리튬 이온에서 LiFePO4 화학 배터리, 나아가 이후 세대로 나아가는 과정에서 수명, 효율성을 늘리고 가장 중요한 안전성까지 강화하는 데 매우 중요한 역할을 합니다. BMS 설계 방식으로 접근하면 정확한 데이터 감지를 제공하고 ESS 모든 모드의 팩 및 셀 수준 밸런싱을 지원하므로 태양광, 풍력과 같은 재생 에너지의 에너지 활용률을 극대화할 수 있어 수요가 많을 때 전력 그리드를 안정화하거나 정전 시 백업 전력으로 활용하기 좋습니다.

상표

모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

중요 알림 및 고지 사항

TI는 기술 및 신뢰성 데이터(데이터시트 포함), 디자인 리소스(레퍼런스 디자인 포함), 애플리케이션 또는 기타 디자인 조언, 웹 도구, 안전 정보 및 기타 리소스를 "있는 그대로" 제공하며 상업성, 특정 목적 적합성 또는 제3자 지적 재산권 침해에 대한 묵시적 보증을 포함하여(그러나 이에 국한되지 않음) 모든 명시적 또는 묵시적으로 모든 보증을 부인합니다.

이러한 리소스는 TI 제품을 사용하는 숙련된 개발자에게 적합합니다. (1) 애플리케이션에 대해 적절한 TI 제품을 선택하고, (2) 애플리케이션을 설계, 검증, 테스트하고, (3) 애플리케이션이 해당 표준 및 기타 안전, 보안, 규정 또는 기타 요구 사항을 충족하도록 보장하는 것은 전적으로 귀하의 책임입니다.

이러한 리소스는 예고 없이 변경될 수 있습니다. TI는 리소스에 설명된 TI 제품을 사용하는 애플리케이션의 개발에만 이러한 리소스를 사용할 수 있는 권한을 부여합니다. 이러한 리소스의 기타 복제 및 표시는 금지됩니다. 다른 모든 TI 지적 재산권 또는 타사 지적 재산권에 대한 라이선스가 부여되지 않습니다. TI는 이러한 리소스의 사용으로 인해 발생하는 모든 청구, 손해, 비용, 손실 및 책임에 대해 책임을 지지 않으며 귀하는 TI와 그 대리인을 완전히 면책해야 합니다.

TI의 제품은 [ti.com](https://www.ti.com)에서 확인하거나 이러한 TI 제품과 함께 제공되는 [TI의 판매 약관](#) 또는 기타 해당 약관의 적용을 받습니다. TI가 이러한 리소스를 제공한다고 해서 TI 제품에 대한 TI의 해당 보증 또는 보증 부인 정보가 확장 또는 기타의 방법으로 변경되지 않습니다.

TI는 사용자가 제안할 수 있는 추가 또는 기타 조건을 반대하거나 거부합니다.

주소: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated