배터리 관리 시스템의 혁신이 EV 채택을 증가시키는 방법

Texas Instruments

Mark Ng
Sector general manager
HEV/EV powertrain

Issac Hsu
Marketing manager
Battery management systems

Taylor Vogt
Applications manager
Battery management systems

완전 전기 미래의 현실은 BMS, 온보드 충전기 및 DC/DC 컨버터, 트랙션 인버터로 구성된 전기 파워트레인 시스템의 혁신을 필요로 합니다. 이러한 시스템의 중심에는 전기화를 가능하게 하는 반도체 구성 요소가 있습니다.

한눈에 보기

BMS(배터리 관리 시스템)는 하이브리드 전기 자동차(HEV) 및 전기 자동차(EV)의 폭넓은 채택으로 진화했습니다. 이 백서에서는 BMS 개발에 영향을 미치는 추세와 주요 하위 시스템이 함께 작동하여 안전성과 효율성을 높이는 방법을 자세히 살펴봅니다.

1

BMS의 작동 원리 및 산업 동향

3개의 주요한 BMS 하위 시스템을 통합하여 안전하고 효율적인 배터리 팩을 지원하는 방법을 검토하고, 무선 BMS를 포함한 새로운 배터리 화학 물질과 BMS 추세를 살펴보십시오.

2

배터리 용량 및 배터리 상태에 대한 고급 추정

배터리의 남은 충전량을 정확하게 측정하면 남은 주행 가능 거리에 직접적인 영향을 미칩니다. CSU(셀 감시 장치)에 대해 자세히 알아보고 배터리 팩의 이점을 극대화하기 위해 셀 상태 측정 방법을 자세히 살펴보십시오.

3

기존의 배터리 정션 박스(BJB)와 지능형 배터리 정션 박스(BJB) 비교

실리콘 혁신이 어떻게 지능형 BJB라고 하는 현대적인 아키텍처로의 전환을 가능하게 하는지 알아보고, 통신 인터페이스로서 배터리 제어 유닛(BCU)의 역할에 대해 알아보십시오.

BMS는 배터리 손상으로부터 보호하고, 지능형 충전 및 방전 알고리즘을 통해 배터리 수명을 연장하고, 남은 배터리 수명을 예상하며, 배터리를 작동 상태로 유지합니다. 리튬 이온 배터리 셀은 아주 어려운 과제를 안고 있으며, 정교한 전자 제어 시스템을 요구합니다. 또한 화재와 폭발로 인한 심각한 부상 위험이 있습니다. 따라서 BMS는 모든 성능, 안전 및 비용 지표를 충족하기 위해 첨단 실리콘이 필요합니다.

일반적으로 모든 설계자가 향상하기 위해 노력하는 세 가지 주요 BMS 과제는 주행 거리 최대화, 비용 향상 및 안전성 향상입니다.

이러한 문제 중 하나를 해결하면 다른 문제에 부정적인 영향을 줄 수 있습니다. 이 백서에서는 세 가지 과제를 모두 해결할 수 있는 몇 가지 새로운 트렌드에 대해 설명합니다.

BMS의 작동 원리 및 산업 동향

분산 BMS 아키텍처(그림 1)는 모듈식 구조를 가지고 있으며, 일반적으로 CSU(셀 감시 유닛), BCU(배터리 제어 유닛) 및 BDU(배터리 분리 유닛)의 세 가지 주요 서브시스템으로 구성됩니다.

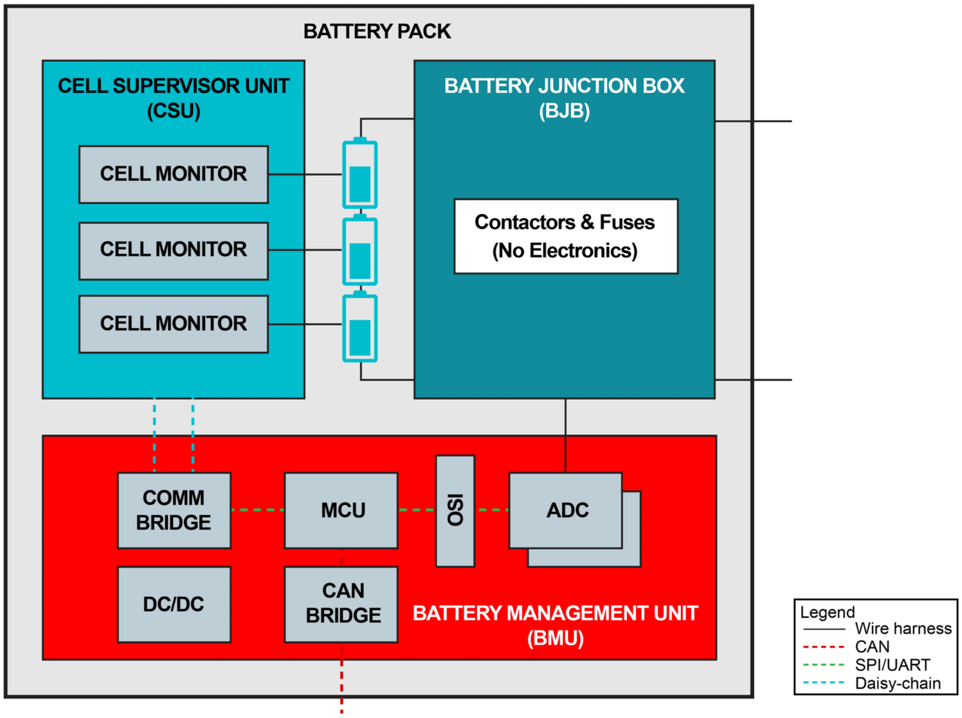

그림 1. 일반적인 BMS 아키텍처.

업계에서는 **표 1**에 나열된 하위 시스템의 이름이 서로 다르기 때문에 다양한 이름 및 머리글자에 대한 기준을 설정하는 것이 좋습니다.

서브 시스템 이름	일명:	약어
셀 감시 장치	셀 감시 회로 셀 모니터 유닛	CSU CSC CMU
BCU(Battery Control Unit)	배터리 전기 컨트롤러 배터리 에너지 컨트롤 모듈 배터리 관리 유닛	BCU BEC BECM BMU
배터리 분리 유닛	배터리 정션 박스	BDU BJB

표 1. BMS 서브시스템에 대한 일반적인 업계 약어.

CSU는 각 셀의 전압과 온도를 감지하여 모든 배터리 셀의 매개변수 정보를 수집합니다. CSU는 셀 밸런싱을 수행하여 배터리 셀 사이의 불일치를 보상하는 데 도움이 됩니다. BCU는 CSU의 매개 변수 정보를 포함해야 하며 팩 관리를 수행하기 위해 배터리 팩의 전압 및 전류도 감지해야 합니다. BCU는 수집된 모든 전압, 전류 및 온도 데이터에 따라 각 배터리 셀의 전체 상태에 따라 배터리 충전 및 방전 방법을 할당합니다. 배터리 상태에 대한 지속적인 모니터링은 충전 상태, 전원 상태 및 상태 계산을 통해 수행됩니다. BCU는 절연 모니터링을 수행하고, 충돌 또는 단락 발생 시 접촉기를 제어하고, 온도 센서를 지속적으로 모니터링하고, 진단을 수행하여 모든 수신 매개 변수가 실제로 유효한지 점검해야 하므로 지능형 보호 제어는 BCU의 중요한 기능입니다. 이 정보는 CAN(Controller Area Network) 통신을 통해 자동차 컨트롤 유닛 또는 전자 컨트롤 유닛으로 전송됩니다.

새로운 배터리 케미스트리

리튬 이온은 다양한 화학 성분을 나타낼 수 있지만 궁극적으로 금속 산화물 음극과 흑연 양극의 충전 및 방전 반응을 기반으로 하는 배터리로 구성됩니다. 더 인기 있는 리튬 이온 화학 성분 중 두 가지는 니켈 망간 코발트(NMC)와 리튬-철 인산염(LFP)입니다.

NMC는 탁월한 에너지 밀도 때문에 주된 화학 성분으로서, 주행 거리에 직접적인 영향을 미칩니다. 그러나 최근 몇 년 동안 니켈과 코발트에 대한 수요가 급증했으며 자동차 제조업체는 격변하는 시장을 헤지하기 위한 전략을 채택하고 있습니다. 니켈과 코발트도 희귀하고 지구에서 추출하기가 어렵습니다.

LFP는 여전히 소수 화학 성분이지만 에너지 밀도는 낮지만 상당한 장점이 있습니다. LFP는 비싸고 희귀한 니켈 및 코발트 원소가 없으며 비용이 적게 듭니다. 또한 사이클 수

명이 길기 때문에 수명이 길어집니다. 또한 LFP 배터리는 니켈과 코발트 배터리보다 안정성이 높고 화재 발생 가능성이 낮으므로 보호 장치가 덜 필요합니다.

따라서 LFP는 주행 거리가 경제성, 안전성 또는 지구 친화성(코발트 및 니켈 사용 안 함)만큼 중요하지 않은 대용량 차량 부문에서 가장 중요한 화학 물질이 될 가능성이 높습니다. LFP는 매우 평평한 방전 곡선을 나타내기 때문에 매우 정확한 배터리 모니터링 기술이 필요합니다. BMS의 다음 단계 문서에서 기사에서 첨단 반도체가 어떻게 새로운 배터리 화학 분야에서 BMS 아키텍처를 지원하는지 알아보십시오. 보다 안전하고 경제적인 전기 자동차.

한편 일부 벤더들은 LFP와 경쟁하기 위해 더 저렴한 가격의 나트륨 이온 세포를 사용하는 것을 검토하고 있습니다.

액체 전해질을 사용하는 기존의 리튬 이온 배터리와 달리, 솔리드 스테이트 배터리는 유리, 세라믹, 고체 폴리머 또는 아황산염으로 구성된 고체 전해질을 사용합니다. 여러 자동차 제조업체에서는 더 나은 에너지 밀도, 향상된 신뢰성 및 노후화 특성, 훨씬 빠른 충전, 그리고 가장 중요한 안전 개선과 같은 고유한 성능 장점을 감안하여 솔리드 스테이트 배터리를 연구하고 있습니다. 고온에서 액체 전해질은 인화성이 됩니다. 고체 전해질은 열 안정성을 높여 화재나 폭발의 위험을 제한할 수 있습니다.

무선 BMS

와이어는 오늘날 BMS를 구현하는 실질적인 방법입니다. 많은 경우, 기능 안전 기능이 데이지 체인으로 연결된 유선 통신 프로토콜에 내장되어 있기 때문에 ASIL D(Automotive Safety Integrity Level D) 준수를 달성하는 가장 안정적인 방법입니다. 그러나 와이어에는 케이블 고장, 보증 수리 및 배터리 셀 교체 비용이 많이 든다는 단점이 있습니다.

무선 BMS의 장점 중 하나(그림 그림 2 참조)는 배터리 팩의 조립 및 생산 단계로 관련된 단순성으로 비용을 절감하고 생산 과정에서 효율성을 높일 수 있다는 것입니다. 생산 라인 기술자는 간단하게 배터리 팩을 조립하고 즉시 판독할 수 있는 반면, 유선 BMS는 기술자들이 모든 배터리 모듈에 케이블을 연결해야 합니다.

무선 BMS의 또 다른 장점은 케이블 하니스와 커넥터가 배터리 팩의 주요 고장 원인 중 하나일 수 있다는 것입니다. 무선 BMS는 저전압 케이블 연결을 줄이고 OEM(Original Equipment Manufacturer)이 보증 요청을 받을 수 있는 가능성을 제공합니다.

무선 BMS는 무게를 줄이는 데 도움이 되며, 더 중요한 것은 배터리 팩에 더 많은 공간이 있다는 것입니다. 공간이 늘어났기 때문에 배터리 제조업체나 OEM은 팩에 더 많은 배터리 셀을 추가할 수 있습니다. 셀을 늘리고 무게를 낮추면 주행 범위가 늘어날 수 있습니다.

무선 BMS는 고유의 절연으로 인해 부품 비용을 절약하는 데 도움이 될 수 있으므로 자동차 제조업체는 절연을 위해 변압기, 커패시터 또는 공통 모드 초크를 사용하지 않고도 비용을 절약할 수 있습니다.

TI의 오토모티브 등급 CC2662R-Q1 SimpleLink™ 무선 마이크로컨트롤러(MCU)는 48MHz Arm® Cortex®-M4 프로세서를 포함하고 2.4GHz 독점 무선 BMS 프로토콜을 실행할 수 있습니다.

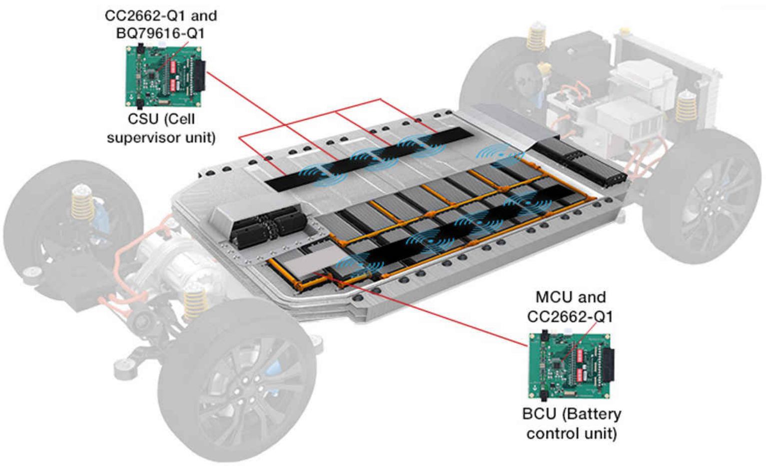

그림 2. TI의 무선 BMS 기술.

배터리 용량 및 배터리 상태에 대한 고급 추정

배터리의 남은 충전량을 정확하게 측정하면 남은 주행 가능 거리에 직접적인 영향을 미칩니다. 배터리 셀 제조업체에서 배터리의 공칭 용량을 제공하지만 시간이 지남에 따라 변경됩니다. 배터리 용량이 사라지는 몇 가지 중요한 요인에는 온도 상승, 사이클(사용량), 방전 패턴의 깊이 및 노화 등이 있습니다. 이러한 요인으로 인해 충전 상태를 정확하게 예측하기 위해 배터리 용량을 지속적으로 추정해야 합니다.

배터리 상태를 정확하게 측정하면 명시적이고 위험한 셀 고장이 발생할 때까지 운전자가 배터리를 교체하거나 기다려야 할지 여부를 결정합니다.

전압 및 전류의 효과적인 동기화는 정확한 충전 상태, 구동 상태 및 EIS(전기 임피던스 분광학) 계산을 통해 배터리를 최적으로 활용하는 데 도움이 됩니다. 자세한 내용은 기술 문서 고급 EV 배터리 관리 시스템을 위한 지능형 배터리 정션 박스를 설계하는 방법을 참조하십시오.

CSU(셀 감시 장치)에 대한 자세한 내용

그림 3에서는 단순화된 CSU를 보여줍니다. CSU는 팩의 실제 셀 내에서 긴밀하게 작동하여 셀 모니터 장치 배선 하니스를 연결하고 필수 팩 데이터를 호스트 BCU로 효율적으로 전송하도록 보장합니다.

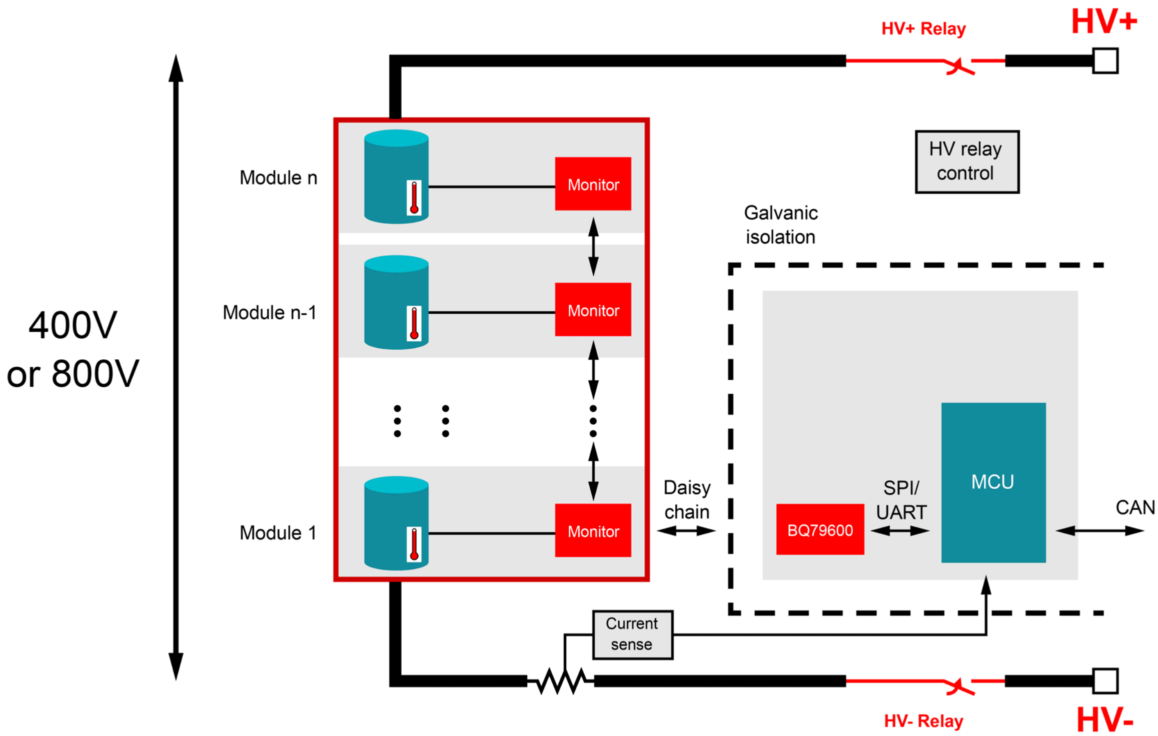

그림 3. 간소화된 CSU 시스템 블록 다이어그램.

CSU가 없으면 배터리 팩 상태에 대한 정보가 거의 없습니다. CSU의 진단 데이터 출력을 사용하면 시스템의 안전 목표에 직접 영향을 미치는 상태 및 충전 상태 예측이 가능합니다. 매우 정밀한 모니터를 통해 이러한 알고리즘은 운전자에게 매우 정확한 추정값을 제공하고 각 충전에서 가장 많은 유틸리티를 극대화할 수 있습니다. 이 작업은 일반적으로 수동적으로 수행되며 열 관리가 유지 및 측정하기 어려워지는 충분히 높은 전류에서 수행됩니다. 전반적으로 팩에 정교한 CSU를 구현하면 차량의 수명 주기 충전 사이클에 이점이 있어 보다 안전하고 개선된 전체 환경을 제공할 수 있습니다.

CSU는 앞서 언급한 배터리 팩의 이점을 극대화하기 위해 셀 상태 측정에 대해 더욱 상세한 정보를 제공합니다. 성능 상태 및 충전 상태 계산의 경우 이러한 측정을 최고 데이터 속도로 안전하고 안정적으로 동기화하면 최상의 예측이 가능합니다. 400V 이상의 고전압 팩을 향한 트렌드가 커짐에 따라 지능형 CSU 설계는 팩 전체에서 셀 데이터 전송 횟수가 증가하고 있습니다. 가장 경제적인 HEV/EV를 만들기 위해서는 가능한 최저 소비 전력 및 외부 인쇄 회로 보드 구성 요소로 이러한 이점을 달성하는 방법이 필요합니다.

LFP가 점점 인기를 얻고 있는 가운데, NMC(그림 4에 나와 있음)에 비해 평평한 방전 곡선은 EV의 사용 가능한 주행 거리를 결정하기 위해 훨씬 더 정확한 셀 전압 측정이 필요합니다. 텍사스 인스트루먼트(TI) **BQ79718-Q1** 적층형 배터리 모니터 및 셀 밸런서는 18셀을 직렬로 측정합니다. ±1mV 정확도를 위한 셀 전압 측정을 제공하며, 300mA 전류 용량을 갖춘 수동 셀 밸런싱을 지원합니다. 또한 이 장치는 **BQ79731-Q1** 배터리 모니터와 함께 전압 및 전류 동기화된 측정을 지원하여 보다 정확한 구동 상태 및 충전 상태 계산을 제공합니다.

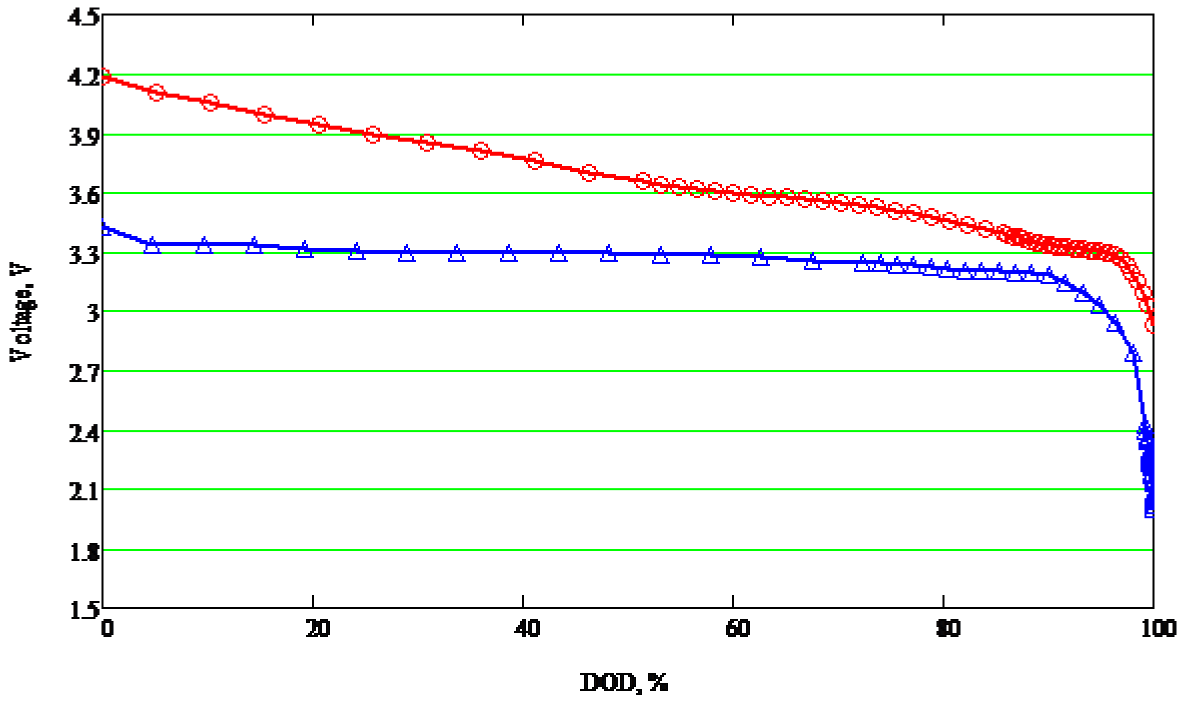

그림 4. 배터리 화학 방전 곡선(빨간색 = NMC, 파란색 = LFP)

기존의 배터리 정션 박스(BJB)와 지능형 배터리 정션 박스(BJB) 비교

BMS 아키텍처는 지속적으로 발전하고 있습니다. 실리콘 혁신(이른바 팩 모니터의 도래로 촉발된 기술)은 지능형 배터리 정션 박스(BJB)라고 하는 보다 현대적인 아키텍처로 전환할 수 있게 해 줍니다. 기존의 BJB에는 기계적 구성 요소만 포함되어 있는 반면, 지능형 BJB는 BJB 자체에 액티브 실리콘 장치를 도입하여 고전압 모니터링, 전류 감지 및 절연 감지(일반적으로 BCU에 의해 수행됨)를 수행합니다.

지능형 BJB 아키텍처(그림 그림 5 참조)에는 몇 가지 분명한 장점이 있습니다. 고전압 및 저전압 영역을 명확하게 분리합니다. 모든 고전압 신호가 BJB에서 직접 측정되므로 BCU가 완전 저전압 설계가 됩니다. 팩 모니터는 전용 데이지 체인 인터페이스를 사용하므로 데이지 체인 방식으로 인해 비용이 많이 드는 디지털 아이솔레이터 장치를 사용할 필요가 없습니다. 데이지 체인 통신은 트랜시버와 같은 다른 구성 요소(CAN 등)가 필요하지 않으며 통신 프로토콜을 제어 및 구동하기 위해 추가 MCU가 필요하지 않는다는 추가적인 장점도 함께 제공됩니다. 팩 모니터를 BJB 안팎에 배치하면 고전압 신호에 즉시 액세스할 수 있으며, 더 이상 여러 개의 긴 와이어를 BCU로 다시 배선할 필요가 없습니다. 전류를 측정하고 션트 전류 감지를 수행할 수 있습니다.

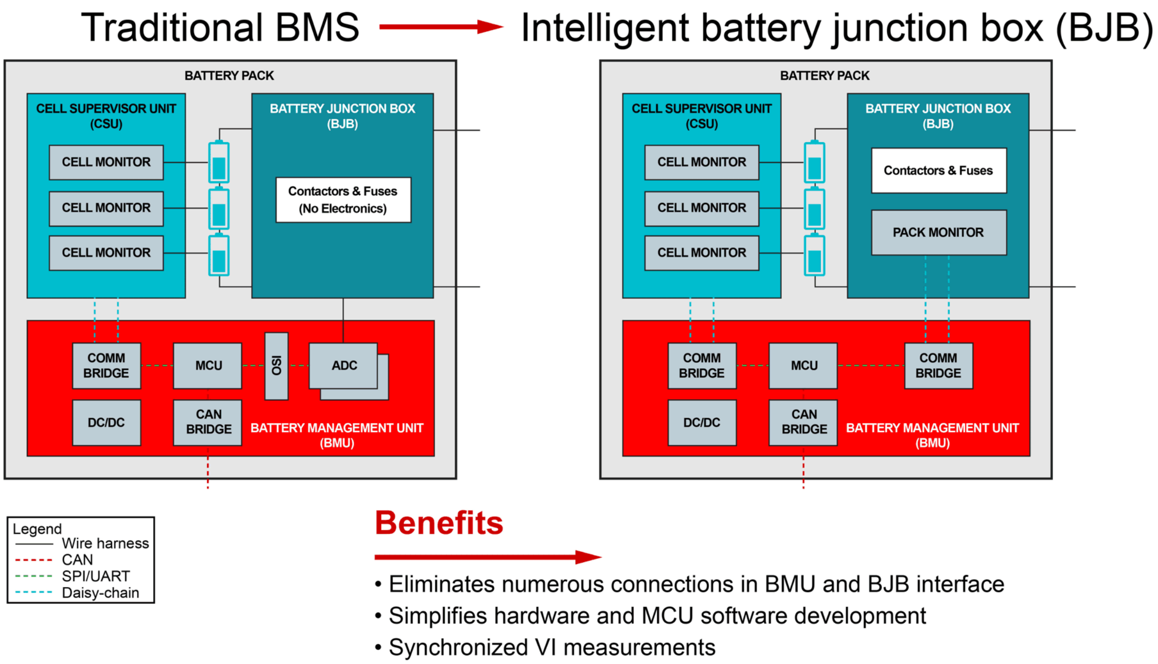

그림 5. 기존의 BMS 아키텍처와 현대적인 지능형 BJB 아키텍처 비교

BJB에 대한 자세한 내용

지능형 BJB는 전압, 전류 및 절연 저항 팩 모니터를 통해 배터리의 고전압을 직접 측정하는 데 도움이 됩니다. 일반적인 팩 모니터에는 여러 개의 전압 및 전류 측정 채널이 있으며, 이 채널은 퓨즈와 계약자 사이에서 전압을 측정하고 BJB의 차단 전압을 점검할 수 있습니다. **그림 6**은(는) 간소화된 시스템 다이어그램입니다.

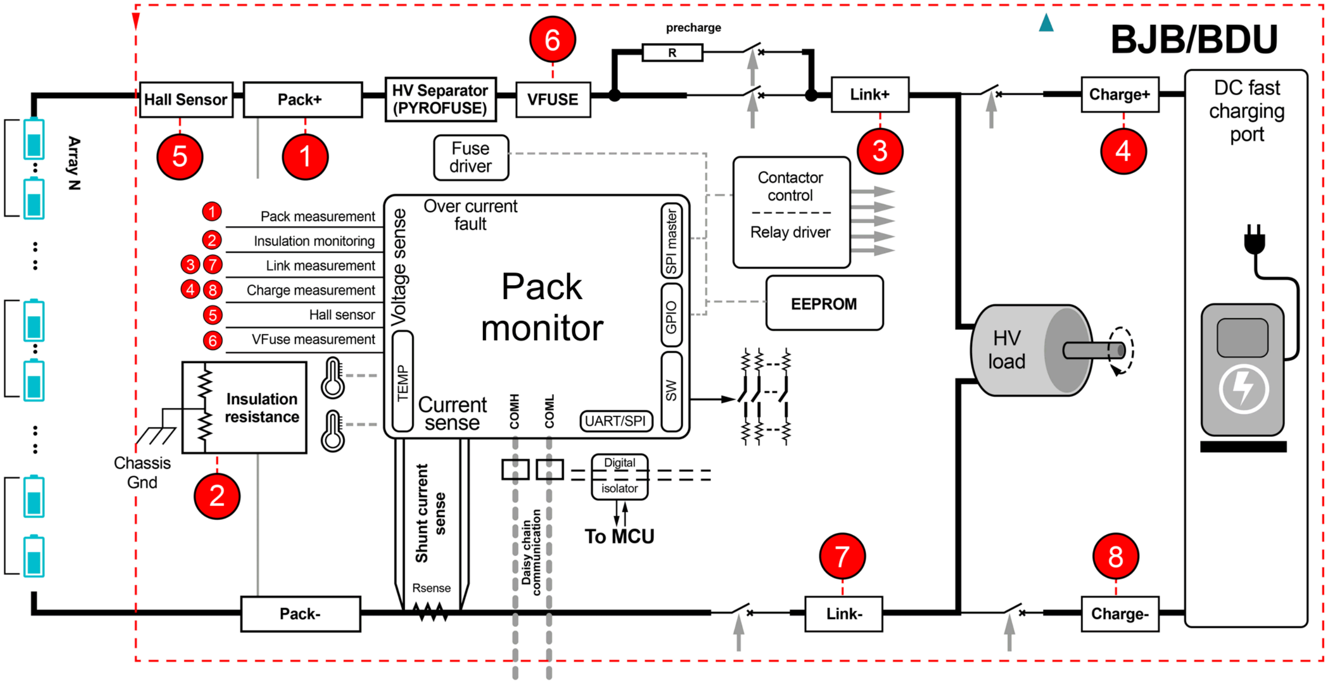

그림 6. 간소화된 BJB 시스템 블록 다이어그램.

팩 모니터는 배터리 팩 전류를 측정할 수 있으므로 과전류 보호 기능이 시스템에 통합되어 있습니다. **BQ79731-Q1**과 같은 일부 팩 모니터에는 충전 상태 계산을 위한 쿨롬 카운팅 기능도 포함되어 있습니다.

BQ79731-Q1에 구현된 전압 및 전류 동기화를 통해 CSU에서 배터리 셀 전압이 측정되는 동시에 배터리 팩 전류 및 전압을 측정할 수 있습니다. 데이지 체인 방식의 통신 인터페이스 중 하나를 통해 캡처된 모든 정보를 BCU로 폴링할 수 있습니다.

지능형 BJB와 기존 BJB 사이의 차이점은 충돌 시 배터리 팩을 EV 시스템에 분리하기 위해 접촉기 드라이버와 파이로퓨즈를 디지털 방식으로 제어하는 것입니다. BQ79731-Q1에는 접촉기 드라이버와 파이로퓨즈를 제어할 수 있는 SPI(직렬 주변 기기 인터페이스) 컨트롤러 채널이 포함되어 있어 BCU에서 추가 SPI 리소스에 대한 필요성이 줄어듭니다.

배터리 팩은 팩 모니터에 의해 제어되는 기계식 접촉기를 사용하여 차량 전체의 하위 시스템을 연결하거나 분리합니다. 생명을 위협할 수 있는 부상으로부터 운전자를 보호하기 위해 이러한 접촉기의 잠재적인 고장 또는 고전압 연결에 대한 노출을 방지하는 것이 중요합니다.

통제되지 않은 돌입 전류가 발생할 경우 아크 및 피팅으로 인해 기계적 고전압 접촉기가 용접되거나 손상될 수 있습니다. *고전압 시스템에 사전 충전 회로가 필요한 이유*에서는 **TPSI3050-Q1** 절연 스위치 드라이버를 사용하여 오토모티브 BJB의 사전 충전을 위한 안정적인 솔리드 스테이트 릴레이를 구성하는 방법을 설명합니다. 움직이는 부품이 없는 TPSI3050-Q1은 기계식 사전 충전 접촉기를 교체할 때 시스템 수준의 안정성과 시간 내 고장 비율을 개선할 수 있습니다.

운전자 또는 정비사가 전기 충격을 받지 않도록 고전압 배터리 팩의 양극 및 음극 단자를 차량 섀시에서 충분히 분리해야 합니다. 이러한 분리를 주기적으로 모니터링하는 것을 절연 점검 또는 절연 저항 모니터링이라고 합니다. **TPSI2140-Q1**과 같은 솔리드 스테이트 릴레이는 알 수 없는 저항 값(배터리 단자와 섀시 접지 사이)과 병렬로 알려진 저항 값(예: MΩ)을 연결하고 분리합니다. BQ79731-Q1과 같은 팩 모니터를 사용하여 결합된 저항을 측정하면 배터리 분리 허용 오차 범위(연방 자동차 안전 표준 305번 사양에 따라 최소 500 Ω/V) 또는 잠재적 유해 여부를 확인할 수 있습니다.

배터리 제어 장치(BCU)에 대한 자세한 내용

BCU는 통신 칩과 MCU로 구성됩니다. 통신 칩은 MCU와 CSU 및 BJB 사이의 인터페이스로서, CSU와 BJB의 데이지 체인 신호를 디코딩된 비트 스트림을 변환하여 MCU로 전송합니다. MCU는 CSU 및 BJB에 의해 측정된 모든 정보를 폴링하고, 배터리 상태를 계산하고, CSU 및 BJB의 고장 또는 진단에 응답합니다. 그림 7에서는 기존 BCU 블록 다이어그램을 보여줍니다.

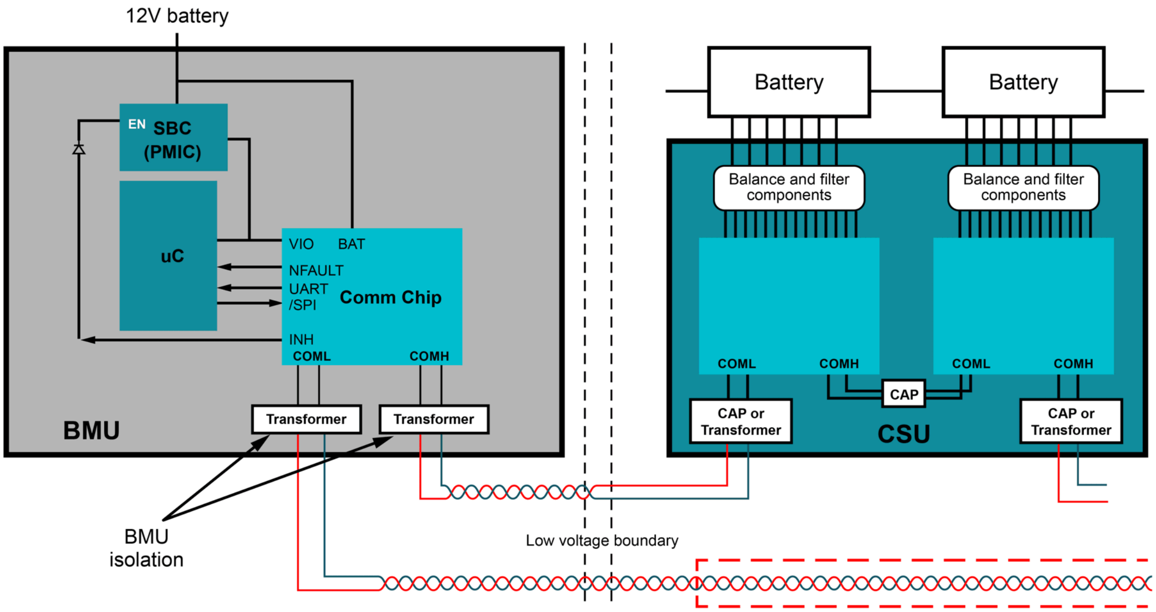

그림 7. 일반적인 BCU 블록 다이어그램.

완벽한 배터리 테스트 환경 에코시스템 구축

BMS의 검증 및 테스트를 위해 자동차 제조업체는 HIL(Hardware-In-the-Loop) 시스템을 사용하여 잠재적으로 위험한 실제 배터리 셀에 연결하기 전에 모든 기능을 테스트할 수 있는 안전한 환경을 만듭니다.

TI는 Comemso와 협력해 왔습니다. 배터리 셀 시뮬레이터는 확장 가능한 변형 및 다양한 기능을 갖춘 BMS 테스트를 위한 다양한 모듈을 제공합니다. 이 시뮬레이터의 유연성을 통해 TI는 설계 엔지니어의 요구 사항을 충족하는 데 도움이 되는 다양한 크기의 시스템을 구현할 수 있습니다.

결론

BMS 아키텍처는 기술적 혁신을 상업적인 장단점에 고려함에 따라 지속적으로 발전하고 있습니다. 새로운 배터리 화학 물질과 새로운 실리콘 장치가 안전 요구 사항이 계속 증가함에 따라 변화하는 역동적인 설계 환경이 조성되었습니다. TI의 목표는 시장이 모든 설계 방향으로 민첩하게 움직일 수 있도록 하는 것입니다. 자동차 회사가 안전성, 안정성을 극대화하고 주행 거리를 주행하고 전 세계 전기 자동차의 도입을 발전시키는 데 도움이 되는 TI의 모든 **HEV/EV BMS** 설계 리소스를 살펴보십시오.

추가 리소스

- 텍사스 인스트루먼트: *유선 통신과 무선 통신 비교 - EV 배터리 관리*.
- 웨비나, **배터리 관리 시스템 세미나 – 전압 및 전류 동기화를 위한 지능형 배터리 정션 박스**를 시청하십시오.
- 텍사스 인스트루먼트: *차량 전기화를 위한 배터리 관리 시 기능 안전 고려 사항*.
- 기술 문서, **고급 EV 배터리 관리 시스템을 위한 지능형 배터리 정션 박스를 설계하는 방법**을 읽어 보십시오.

중요 알림: 이 문서에 기술된 텍사스 인스트루먼트의 제품과 서비스는 TI의 판매 표준 약관에 의거하여 판매됩니다. TI 제품과 서비스에 대한 최신 정보를 완전히 숙지하신 후 제품을 주문해 주시기 바랍니다. TI는 애플리케이션 지원, 고객의 애플리케이션 또는 제품 설계, 소프트웨어 성능 또는 특허권 침해에 대해 책임을 지지 않습니다. 다른 모든 회사의 제품 또는 서비스에 관한 정보 공개는 TI가 승인, 보증 또는 동의한 것으로 간주되지 않습니다.

모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

© 2022 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 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 © 2023, Texas Instruments Incorporated