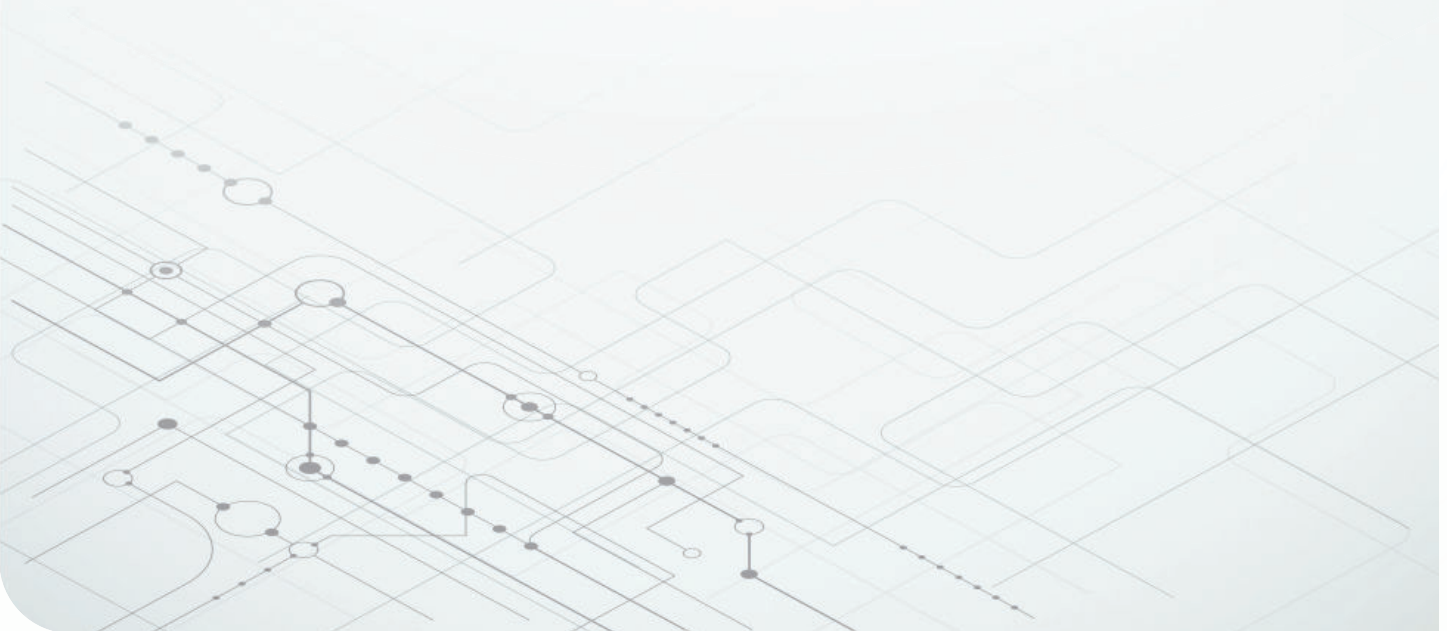


# 더 스마트한 전력 분배: 차량용 기술 의 미래 형성



**David Martinez**  
Systems engineer



# 이 백서에서는 영역 아키텍처, 48V 시스템 및 기타 트렌드의 등장이 어떻게 차량에서 더 스마트하고 더 안전하고, 더 최적화된 전력 분배를 가능하게 하는지 설명합니다.

## 한눈에 보기



### 전력 분배가 변화하는 이유는 무엇인가요?

1

전원, 영역 아키텍처, 48V 저전압 레일, 안전 요구 사항 변경이 차량용 전력 분배의 변화를 어떻게 주도하고 있는지 알아보세요.



### 전력 분배 아키텍처의 발전

2

차량용 아키텍처가 어떻게 최적화된 배선과 향상된 소프트웨어 제어의 필요성을 야기하고 있는지 읽어보세요.



### 배전 모듈 내부 살펴보기

3

전원 분배 모듈 설계 방식 및 다양한 설계 고려 사항에 대해 알아보세요.

## 머리말

차량 전력 분배 아키텍처와 ECU(전자 제어 장치)는 지능형 반도체 솔루션을 추가하여 안전하고, 안정적이며, 효율적으로 전력을 분배하도록 진화하고 있습니다. 차량이 자율 주행 및 전기 파워트레인으로 계속 발전함에 따라 고장 상태 발생 시 안전하고 신뢰할 수 있는 전력 분배를 보장하기 위한 새로운 규정이 마련되었습니다.

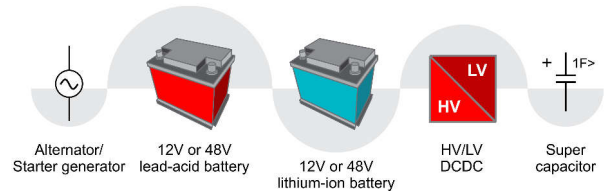
이 백서에서는 정부 규정, 영역 아키텍처, 48V 및 안전에 민감한 전력 설계가 전력 분배 아키텍처의 변화에 어떤 영향을 미치고 있는지와 이러한 아키텍처가 현재 직면하고 있는 과제와 고려 사항을 다룹니다.

### 전력 분배가 변화하는 이유는 무엇인가요?

새로운 규정으로 인해 납산 배터리 자동차 판매가 더 어려워지면서(특히 유럽연합의 경우) 자동차 OEM(Original

Equipment Manufacturer)은 기존의 납산 배터리에서 탈피하고 있습니다. 납산 배터리는 리튬 이온 배터리보다 저렴하고 생산하기 쉽지만 수명이 짧고 환경에 해로운 영향을 미칩니다. 이러한 정부 규정과 전기 자동차의 인기에 따라 OEM은 **그림 1**에서 볼 수 있듯이 리튬 이온 배터리, DC/DC 컨버터 및 슈퍼 커패시터와 같은 다양한 입력 소스를 채택하고 있습니다.

### Input source combinations



**그림 1. 차량의 다양한 전원 비교.**

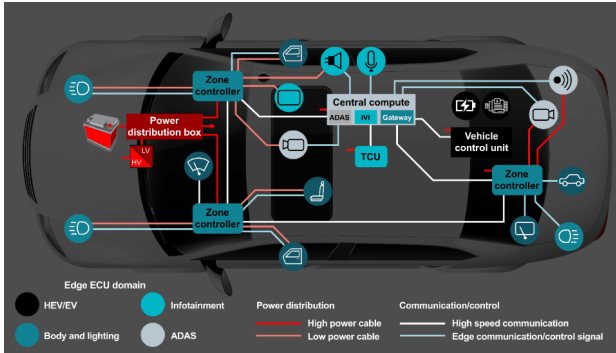
리튬 기반 배터리, 슈퍼 커패시터 또는 둘 다로 전환하려면 과충전 상태를 방지하기 위해 추가 회로가 필요합니다. 이러한 전원 공급 장치를 충전하는 회로는 전용 고전압-저전압 DC/DC 전원 공급 충전 회로가 필요하며, 지능형 전원 스위치를 사용하여 충전 전압과 전류를 분배하고 모니터링합니다. BEV(배터리 전기 자동차)와 HEV(하이브리드 전기 자동차)가 등장하면서, 차량의 시동이 꺼져 있거나 이동 중일 때 배터리를 충전하기 위해 전력 분배 회로를 사용하는 것이 주행 거리를 극대화하는 데 특히 중요합니다.

슈퍼 커패시터는 차량용 입력 소스에 추가되는 흥미로운 요소입니다. 장기적인 에너지 저장에는 적합하지 않지만 버스트 모드 전력이 필요한 애플리케이션에서 탁월합니다. 슈퍼 커패시터는 납산 배터리보다 단시간에 더 많은 크랭킹 사이클(소스의 에너지가 크게 감소하기 전까지 고출력 전력을 여러 차례 공급할 수 있는 횟수)을 제공할 때 문입니다. 따라서 슈퍼 커패시터는 정전식 돌입 전류와 모터 시동 또는 크랭킹과 같은 부하 과도를 처리하는 데 매우 적합합니다. 설계자는 슈퍼 커패시터를 포함한 배터리를

사용하여 자동차 배터리에 가해지는 스트레스를 줄이고 배터리 수명을 늘릴 수 있습니다.

## 영역 아키텍처 및 스마트 eFuse

OEM에서는 차량을 도메인 아키텍처에서 영역 아키텍처로 전환하기 시작했습니다. 이는 **그림 2**에 표시된 것처럼 기능이 아닌 위치를 기반으로 전자 제어를 그룹화하는 개념입니다. 영역 아키텍처는 차량 배선의 양을 줄여 커다란 비용 절감 기회를 제공합니다.



**그림 2.** 최신 차량의 영역 아키텍처.

영역 아키텍처는 퓨즈 박스에서 전원을 공급하는 대신 PDB(배전함)과 ZCM(영역 제어 모듈)을 통해 전력을 분배합니다. PDB는 차량의 전원 공급 장치에서 ZCMS 및 기타 고전력 ECU로 1차 고전류 전력을 분배합니다. 그런 다음, ZCM이 근처에 있는 ECU 및 센서에 2차 전력을 분배합니다. 이 설계 방식은 배선을 최적화하고 차량 전력 소비에 대한 제어력을 높입니다.

또한 ZCM 및 PDB는 응용 퓨즈와 기계 릴레이의 기능을 결합한 스마트 eFuse라는 반도체 기반 스위치를 사용합니다. 소프트웨어 리셋식 스위치를 추가함으로써, 영역 아키텍처에서는 소프트웨어가 와이어 하니스를 보호하고 고장으로부터 복구하는 데 필요한 알고리즘을 포함하여 각 스위치를 개별적으로 관리할 수 있기 때문에 액세스 가능한 PDB가 필요하지 않습니다.

또한 영역 아키텍처는 OEM이 차량 소비 전력을 더 잘 관리할 수 있도록 하여 배전 시스템에 대한 제어력을 높일 수 있도록 지원합니다. 이와 관련하여 여기에는 차량 소프트웨어가 eFuse를 꺼서 기타 또는 사용되지 않는 기능의 전원을 끄므로써 안전에 중요한 기능이 작동할 수 있는 충분한 전력을 확보하는 것이 포함됩니다.

전력을 특정 부하로 전환하는 개념은 eFuse의 저전력 상태를 사용하여 PAAT(상시 전원 공급) 부하를 구동함으로써 총 소비 전력을 최소화하는 것으로 확장됩니다. 차량의 시동 꺼짐 또는 주차 상태에서도 도어 래치와 같은 PAAT 부하는 여전히 전원을 공급받으므로 안전에 중요한 기능이 작동 상태를 유지하고 대량의 커패시턴스가 충전 상태를 유지합니다. PAAT 기능이 작동할 때 eFuse는 저전력 상태를 종료하여 부하를 완전히 구동하고 로컬 MCU(마이크로 컨트롤러)에 경고를 전달합니다. 그러면 eFuse는 일정 시간 동안 유휴 후 저전력 상태로 돌아갑니다.

## 48V 저전압 레일

비용 절감의 또 다른 방법은 12V보다 높은 전원으로 전환하는 것입니다. 48V 전력 분배는 자동차 분야에서 새로운 개념은 아니지만, 차량 배선, 무게 및 비용을 더욱 최적화하는 동시에 차량 전체에 분배되는 전력을 늘릴 수 있습니다. 특히 48V에서 스티어링-바이 와이어와 같은 고전력 기능을 실행하는 데 필요한 전류는 12V를 사용할 때 부하 전류 요구 사항의 약 25%입니다. 따라서 부하 전류 요구 사항이 낮아져 차량 배선의 게이지, 무게 및 비용이 감소하여 BEV의 주행 거리가 더욱 연장됩니다.

## 자율 차량을 위한 더 안전한 전력 분배

전력 분배 시스템이 변화하고 있는 마지막 이유는 OEM이 최고의 운전자 보조 기술에 향상된 차량 인텔리전스를 통합하여 차량을 더 안전하게 만들기 위해 노력하고 있기 때문입니다. 많은 OEM은 국제자동차기술자협회(Society of Automotive Engineers) 레벨 2와 현재 존재하는 일부 레벨 3 차량을 넘어서는 자율 주행 차량을 실현하기 위해 차량 혁신을 위해 경쟁하고 있습니다. 레벨 3 전력 분배 등에 필요한 안전 원칙은 이중화 입력 공급 장치, 일부 전원 공급 장치 고장 시의 지능형 부하 관리, 시스템에서 오류를 격리하기 위한 간섭 없는 설계와 같은 설계 방식을 따라야 합니다. 이러한 안전 원칙은 ISO26262 및 VDA450 표준에 광범위하게 정의되어 있습니다.

## 전력 분배 아키텍처의 발전

차량용 아키텍처가 전체적으로 변화하고 있어 최적화된 배선 및 소프트웨어 제어의 필요성이 야기되고 있기 때문에 차량의 전력 분배 기술이 진화하고 있습니다. **그림 3**에 나와 있는 것처럼, 배전 네트워크는 차량 전력을 PDB에 공급하면 여기서 각 영역으로 전력을 분배합니다. 그러면 각

영역은 전력을 인근 ECU, 액추에이터 또는 센서에 분배합니다.

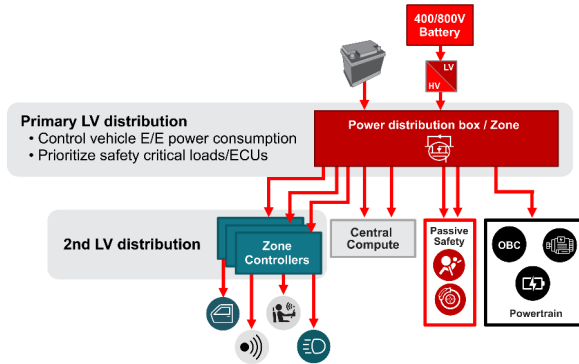


그림 3. 최신 전력 분배 아키텍처.

그림 4에서는 다양한 전력 분배 아키텍처를 보여줍니다. 스마트 eFuse 및 48V 시스템의 도입으로 OEM은 운전자가 관리하는 액세스 가능한 퓨즈 박스를 차량 소프트웨어로 관리하는 전자 퓨즈 박스로 대체하여 시스템을 개선하고 있습니다. 모든 부하와 액추에이터가 이 높은 전압 수준으로 이동할 준비가 되어 있는 것은 아니기 때문에 48V 전력 분배로의 전환에는 시간이 걸릴 것입니다. 따라서 12V 부하 장치는 1세대 48V 시스템에 남아 있게 됩니다. OEM이 48V 전력 분배를 계속 평가해 나가면서 전력 분배 아키텍처가 계속 발전하여 12V 소스를 완전히 대체할 수 있게 될 것입니다.

### Power Distribution Architecture

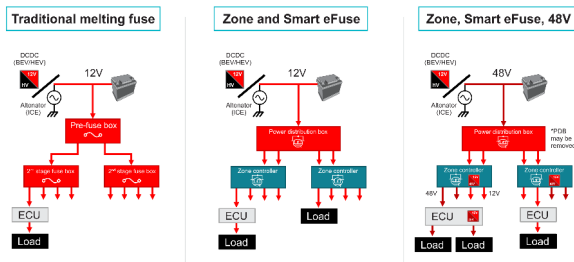


그림 4. 미래의 전력 분배 아키텍처 비교.

48V 시스템은 ZCM이 1차 및 2차 전력을 모두 분배하는 백본 아키텍처를 사용할 수 있게 함으로써 진화를 거듭해 나갑니다. 그런 다음, 그림 5에서 볼 수 있듯이 PDB를 제거할 수 있습니다. 열 손실이 낮아지는 경우 48V 아키텍처를 사용하여 감소된 부하 전류를 통해 ZCM에서 더 많은 전력

분배 입력과 출력을 구현할 수 있습니다. 이 토폴로지는 전력 분배 네트워크를 크게 간소화합니다.

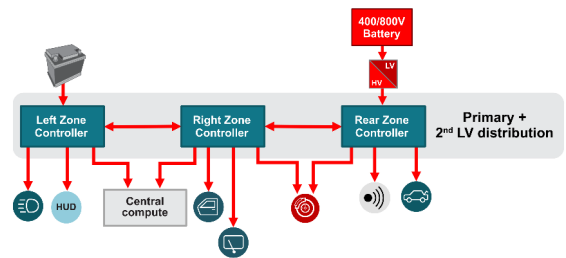


그림 5. 백본 전력 분배 아키텍처.

### 배전 모듈 내부 살펴보기

일반적인 PDB 및 ZCM에는 더 스마트한 차량을 구현하기 위해 몇 가지 방식이 적용됩니다. 시스템에 PDB가 없는 경우 이러한 방식은 ZCM에 통합되어 있을 수 있습니다. 그림 6에는 1차 전력 분배의 일반적인 구현이 나와 있습니다.

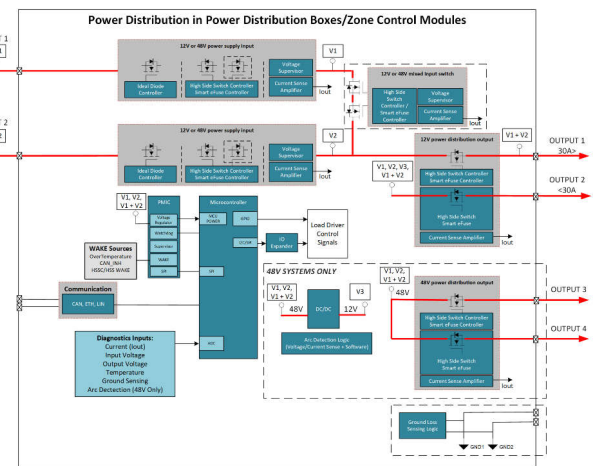


그림 6. 일반 배전 모듈.

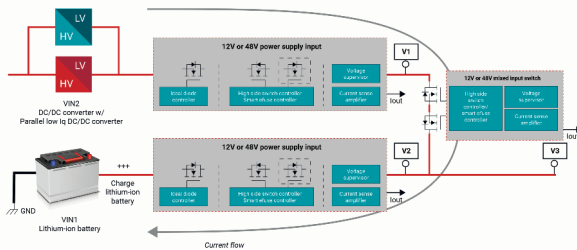
### 입력 고려 사항

앞서 이야기했듯이 PDB 또는 ZCM은 그림 1에 표시된 대로 5개의 다른 전원을 사용할 수 있습니다. 중복 입력을 선택할 때는 시스템에 어떤 부하 과도 상태가 있는지, 저전력 모드(특히 BEV의 경우) 또는 역전류 방지가 필요한지 여부, 양방향 전류가 허용되는지 여부, 시스템에 필요한 안전 메커니즘과 같은 질문을 고려해야 합니다.

슈퍼 커패시터나 배터리는 돌입 전류를 처리하여 중단 없는 전력을 보장할 수 있기 때문에 부하 과도를 필수적으로 고려해야 합니다. 반면, DC/DC 컨트롤러와 스마트 eFuse 스위치에는 전류 제한과 정전식 부하 충전 기능이 있어야

다운스트림 부품이 이러한 과도 돌입 전류로부터 보호됩니다.

저전압 배터리는 저전력 모드를 위한 설계 시 고려해야 할 주요 입력 소스입니다. 저전압 배터리는 소량의 전류를 소비하며 전압 수준은 슈퍼 커패시터와 달리 더 오랜 시간 동안 안정적입니다. 이에 비해 고전력 DC/DC 컨버터는 무시할 수 없는 양의 정동작 전류를 소비합니다. 그럼에도 불구하고 저전력 상태에서 시스템을 지원하기 위한 낮은 정동작 전류의 병렬 DC/DC 컨버터는 고전압 배터리의 소비 전력을 줄일 수 있습니다. 차량의 시동 꺼짐 상태 설계에는 BEV에서 이 배터리를 충전하는 것도 포함됩니다. DC/DC 컨버터를 2차 입력 소스로 사용하여 혼합 입력 스위치를 켜면, 시동이 꺼진 상태에서도 배터리를 충전할 수 있으며 **그림 7**에 표시된 대로 다운스트림 스위치가 비활성화된 경우 전류가 Vin\_2에서 Vin\_1로 흐를 수 있습니다.



**그림 7. 혼합 입력 스위치를 사용하여 리튬 이온 충전.**

이상적 다이오드는 백서 "**이상적 다이오드의 기본 사항**"에서 설명한 것처럼 역전류 차단 및/또는 역극성이 필요한 애플리케이션에 적합합니다. 이상적 다이오드는 역전류 방지 기능을 제공하므로 시스템 이중화를 높이기 위해 여러 전원을 결합해야 하는 애플리케이션에서도 유용합니다.

반면 스마트 eFuse 또는 고압측 스위치는 단방향 및 양방향 전류 애플리케이션에 적합합니다. 양방향 전류는 배터리 충전 외에도 안전을 위해 여러 전압 버스 바 또는 도메인을 사용하여 하나의 ECU를 지원할 때 필요합니다. **그림 3** 또는 **그림 5**의 예를 통해 설명하면, 이 시스템에서 DC/DC 컨버터 또는 컨트롤러가 실패할 경우 차량 소프트웨어는 배터리의 전력이 왼쪽 영역에서 후방 영역의 우선 순위가 높은 기능으로 전달되도록 차량 전력 분배를 수정할 수 있습니다. 이러한 추가 기능을 지원할 때 배터리 자

체의 용량을 초과할 수 있는 경우 차량 소프트웨어는 전류 감지 증폭기를 통해 공급 전류를 감지하여 시스템에서 꺼야 할 부하를 파악해 이러한 우선 순위가 높은 기능이 안정적으로 전원을 공급받도록 합니다.

마지막으로, 안전 메커니즘은 전력 분배 아키텍처를 크게 변경할 수 있습니다. 혼합 입력 스위치를 사용하여 V1 및 V2 출력 레일을 결합하면 ECU에 대한 추가 보호 V1+V2 출력이 생성됩니다. 슈퍼 커패시터는 MCU 또는 외부 ECU와 같은 중요한 부품에 대해 전력을 유지할 수도 있습니다. 오늘날 슈퍼 커패시터는 충돌 후 전원이 손실되는 경우 도어를 여는 전기 도어 래치와 같은 중요한 자동차 기능에 사용됩니다. 이러한 예는 여러 안전 기능을 구현하기 위해 전원을 선택할 때 설계자들이 얼마나 창의적인지를 보여줍니다.

## 출력 고려 사항

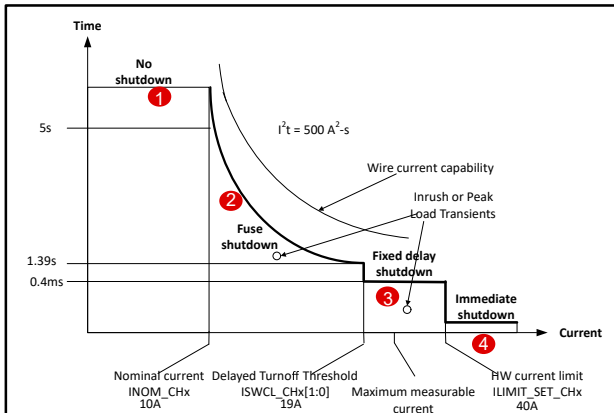
지능형 전력 분배를 위해 용융 퓨즈 및 릴레이를 스마트 eFuse로 교체해야 하는 필요성이 증가하고 있습니다. 적절한 스마트 eFuse를 선택할 때 고려해야 할 사항에는 프로그램 가능한 와이어 보호(I2T), 정전식 충전, 저전력 모드, 제어 및 구성을 위한 핀 수, 전류 및 전압 감지, 안전성 등의 기능이 있습니다.

작동 전류, 피크 전류, 부하 유형, PAAT 요구 사항 및 ASIL(Automotive Safety Integrity Level) 등급 같은 부하 프로파일 특성은 선택한 스위치에 필요한 기능을 결정합니다. 매우 높은 작동 전류를 지원하려면 외부 FET(전계 효과 트랜지스터)를 구동하여 모든 부하 요구 사항을 지원하는 고압측 스위치 컨트롤러를 고려하세요. 예를 들어 30A 이상의 연속 전류를 구동해야 하는 경우, 통합 FET 솔루션의 Rds(on) 사양에 따라 접합부 온도가 과도하게 상승해 지속적으로 사용할 수 없는 수준에 이를 수 있으므로, 외부 FET 솔루션을 사용하는 것이 권장됩니다.

반대로, 고압측 스위치와 스마트 eFuse는 성능과 비용 모두에서 더 낮은 전류를 지원하는 능력이 탁월합니다. PDB는 일반적으로 고압측 스위치 대신 고압측 스위치 컨트롤러로 구성되어 있습니다. 이러한 장치는 모든 다운스트림 영역에 필요한 전력을 지원하기 위해 수백 암페어 이상의 고전류를 지원해야 하기 때문입니다. 또한 부하 프로파일 특성은 스마트 eFuse의 프로그래밍된 와이어 특성을 나타내어 스마트 eFuse가 로컬 MCU의 개입 없이 과전류를 감



지하면 자동으로 차단되도록 합니다. **그림 8**에는 eFuse의 프로그래밍 가능한 퓨즈 특성의 예가 나와 있습니다.



**그림 8.** 다양한 eFuse의 프로그래밍 가능한 퓨즈 특성의 예.

부하 및 피크 전류 유형에 따라 스마트 eFuse 정전식 충전 방법을 사용할 수 있는지 여부도 결정됩니다. 스마트 eFuse 스위치에는 일반적으로 커패시터 돌입 전류 제어 기술이 적용되어 있어 MOSFET(금속 산화막 반도체 전계 효과 트랜지스터)의 손상을 방지합니다. 반면, 브러시드 DC 모터 시동 시 발생하는 돌입 전류에서는 일반적으로 스마트 eFuse 드레인-소스 온 저항 또는 펄스 폭 변조나 전류 제한이 없는 경우 외부 MOSFET의 감소를 필요로 합니다.

스마트 eFuse의 안전 메커니즘도 고려하는 것이 중요합니다. 더 구체적으로 말하자면 림프 홈 모드 기능입니다. 림프 홈 모드는 고압측 스위치가 일반적으로 MCU인 SPI 컨트롤러와 SPI 통신을 상실하는 경우와 같은 고장 조건이 충족될 때, 장치가 진입하게 되는 프로그래밍 가능한 안전 상태입니다. 필요한 차량 기능을 보존하는 림프 홈 상태를 설계할 때는 출력이 유지되어야 하는지 여부와 복구 방법을 고려하는 것이 중요하며, 이 둘은 이 고장 상태로 전환 되기 전에 스마트 eFuse에 프로그래밍 가능한 기능입니다.

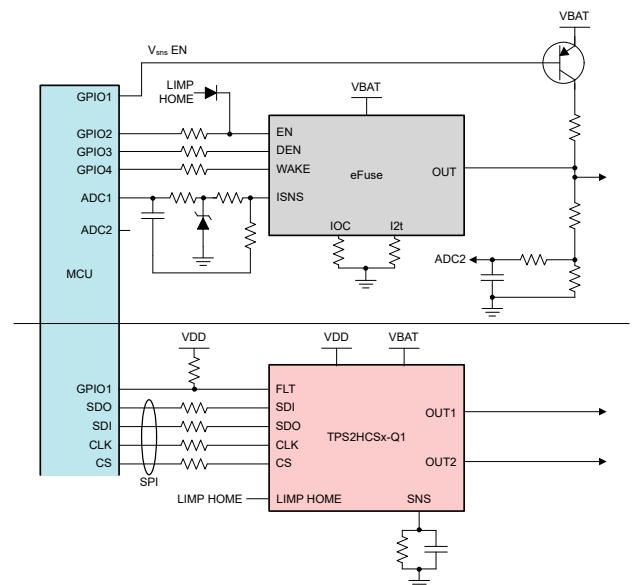
## 시스템 고려 사항

PDB의 설계 고려 사항에는 시스템 진단, BOM(재료 사양서), I/O(입력/출력) 및 스마트 eFuse 오류 복구가 포함됩니다.

시스템 진단에는 각 스위치의 오류 상태 및 전압, 전류, 온도와 같은 매개 변수와 접지 손실과 같은 시스템 수준 매개 변수가 포함될 수 있습니다. 전압 및 전류 감지를 위해 1% 이하의 정확도를 지닌 전류 감지 증폭기 또는 전압 감지 증

폭기를 선택하고 MCU의 통합 ADC(아날로그-디지털 컨버터)를 사용할 수 있습니다. 1%~5%의 전류 감지 정확도 요구 사항의 경우 스위치의 통합 감지 기능을 사용하면 시스템 BOM을 줄이는 데 도움이 됩니다. 통합 감지 기능은 활성 및 저전력 모드 모두에서 전류 또는 전압 판독값이 필요한 애플리케이션에도 유용합니다. 반대로 이 두 상태의 전류를 정확하게 감지하려면 최소 2개의 전류 감지 증폭기가 필요합니다. 궁극적으로 각 스위치에 대한 시스템 진단을 파악하면 차량 소프트웨어가 지능적으로 많은 안전 기능을 구현할 수 있습니다.

전력 분배 모듈을 위한 MCU 범용 I/O 및 기타 주변 기기의 수를 결정하면 MCU가 시스템과 상호 작용하는 방법을 결정함으로써 비용을 크게 절감할 수 있습니다. PDB(특히 ZCM)는 60개 이상의 고압측 스위치, 하프 브리지 및 스마트 eFuse 출력을 가질 수 있습니다. 이는 여러 부하 드라이버 및 스마트 eFuse 통합 회로와 상호 작용하는 데 필요한 300개 이상의 I/O 및 ADC MCU 핀으로 변환됩니다. SPI(직렬 주변 기기 인터페이스) 기반 eFuse 및 SPI/I2C I/O 확장기를 사용하면 MCU 패키지 크기와 핀 수를 최적화할 수 있습니다. **그림 9**에서는 각 IO 기반 eFuse에 4개의 핀(EN, 진단 활성화, WAKE, ISNS)이 필요하고 I2T 특성이 프로그래밍 가능하지 않음을 보여줍니다. 반면 하나의 SPI 기반 eFuse에는 다섯 개의 MCU 핀만 필요하므로, 추가 장치마다 하나의 칩만 선택하면 됩니다.



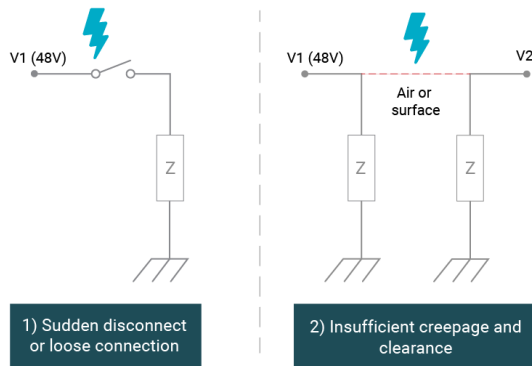
**그림 9.** SPI 기반 eFuse를 통해 IO 수 최적화.

또한 소프트웨어는 각 eFuse에 대한 복구 방법을 결정하는데 필수적입니다. 용융 퓨즈는 과전류 감지 시 용융되어 입력과 출력의 연결을 차단합니다. 텍사스 인스트루먼트의 스마트 eFuse는 출력을 간단하게 끄고 설정 시간 후에 자동으로 출력을 다시 켤 수 있는 옵션을 제공합니다. 또한 케이블 열 모델과 와이어 저항을 사용하여 와이어 온도를 예측함으로써 출력을 다시 켜는 것이 안전한지 여부를 판단해 로컬 MCU 및 전력 분배 시스템 내에서 더 복잡한 부하 복구 알고리즘을 구현할 수 있습니다. 이러한 스위치 리셋을 자동화하면 궁극적으로 액세스 가능한 PDB의 필요성이 줄어들고 부하에 더 가깝게 스위치를 배치할 수 있으므로 전원에서 ECU까지의 케이블 길이가 줄어듭니다.

## 48V 고려 사항

48V 아키텍처는 12V 아키텍처와 매우 유사하지만, 추가적인 과제가 있습니다.

첫째, 전압 아크는 48V에서의 문제이므로 출력과 부품은 전압 수준이 다른 두 지점 간의 아크 발생을 방지하기 위해 충분한 연면과 간극이 있어야 합니다. 소프트웨어, 전압 및 전류 감지 기능의 조합은 아크를 감지하고 아크를 멈추는데 필요한 스위치를 신속하게 종료하는 데 도움이 됩니다. 머신 러닝 알고리즘을 개발하여 차량의 자연 과도 현상과 아크 파형을 더 잘 구별하여 오탐지를 방지할 수 있습니다. **그림 10**에서는 48V 아키텍처에서 발생하는 아크의 가장 일반적인 원인을 보여줍니다.



**그림 10.** 48V 아키텍처에서 아크 발생의 일반적인 원인.

또한 모든 액추에이터와 반도체가 48V 작동으로 전환하거나 전환으로부터 이점을 얻는 것은 아니기 때문에, 많은 1세대 48V 아키텍처에서 48V-12V DC/DC 컨버터는 여전히 필요합니다. 필요한 전력, 보드 크기, 비용 및 효율성에 따라 48V-12V 변환에 고려할 수 있는 여러 토폴로지가 있습니다. 표준 접근 방식은 기존의 벡 컨버터 또는 컨트롤러이며, SCC(스위치드 커패시터 컨버터) 및 STC(스위치드 탱크 컨버터) 같은 고급 토폴로지도 있습니다.

## 참고 자료

1. 영역 아키텍처에 대한 자세한 내용은 **영역 아키텍처가 완전한 소프트웨어 정의 차량을 위한 기반을 다지는 방법**을 참조하세요.
2. 영역 아키텍처의 추가 이점 및 소프트웨어 정의 차량에 미치는 영향을 알아보려면 **차량용 전자장치의 미래를 바꾸는 소프트웨어 정의 차량**을 참조하세요.
3. 48V 아키텍처, 설계 과제 및 다시 부상한 이유에 대한 자세한 내용은 **48V 차량용 시스템: 왜 지금인가?**를 참조하세요.
4. 스마트 eFuse의 시스템상 이점 및 고려 사항을 더 잘 이해하려면 **영역 컨트롤러에서 전력 분배 애플리케이션을 위한 완전 소프트웨어 구성 가능 고압측 스위치**를 참조하세요.
5. 스마트 eFuse가 I/O 요구 사항을 어떻게 완화할 수 있는지 알아보려면 **SPI eFuse 스위치를 사용하여 시스템 재료 사양서 및 MCU 핀 요구 사항 완화**를 참조하세요.

**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.

## 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