

48V 차량용 시스템: 왜 지금인가?



Madison Eaker
Systems Manager
Body Electronics and Lighting

이 백서에서는 전기차와 하이브리드 차량을 위한 48V 저전압 레일 시스템에 대한 증가하는 관심과, 엔지니어가 이를 사용하여 새로운 기능을 구현하는 동시에 와이어 하네스 크기와 비용을 줄이는 방법에 대해 설명합니다.

한눈에 보기

MHEV에서와 BEV에서의 48V

MHEV 및 BEV에서 48V 시스템의 발전에 대해 알아봅니다.

1

와이어 하네스 줄이기

영역 아키텍처를 사용하는 48V 시스템이 와이어 하네스의 복잡성과 비용을 어떻게 줄일 수 있는지 알아봅니다.

2

48V 아키텍처

와이어 하네스 설계 및 비용을 최적화하는 다양한 48V 시스템 설계 접근 방식을 알아봅니다.

3

48V 설계 과제

과도 전압, 연면/간극 요구 사항, EMC 표준 및 IC 비용을 포함하여 48V 시스템을 도입할 때 주요 설계 과제를 살펴봅니다.

4

48V 시스템에 대한 새로운 관심은 BEV(배터리 전기 자동차)와 HEV(하이브리드 차량) 모두의 인기가 높아지고 있는 것과 관련이 있을 수 있습니다. 고전압 배터리에서 48V를 생성하는 전기 또는 하이브리드 자동차는 48V 시스템의 중요한 이점을 실현할 수 있습니다. 48V 저전압 레일을 추가하면 차량 전체에 전원을 공급하는 와이어 하네스의 게이지 줄이고 전원 스위치 및 모터 드라이버와 같은 다운스트림 반도체 부품의 부하 전류 요구 사항을 줄일 수 있습니다. 따라서 48V 시스템은 12V 시스템보다 더 많은 전력을 공급할 수 있으므로 인공 지능이나 미니 냉장고와 같은 기능을 추가할 수 있는 기회를 열어줍니다.

BEV OEM(Original Equipment Manufacturer)은 BEV의 비용, 무게, 주행 거리를 최적화하는 방법을 모색하고 있습니다. 전기적 관점에서 볼 때, 텍사스 인스트루먼트 백서 "[영역 아키텍처가 완전한 소프트웨어 정의 차량으로 가는 길을 여는 방법](#)"에서 논의된 것처럼 [영역 아키텍처](#)를 통해 와이어 하네스를 줄이거나 전력 분배를 위해 48V 저전압 레일을 사용하여 이 세 가지를 모두 해결할 수 있습니다.

1900년대 초반에 자동차 산업에서는 E/E(전기/전자) 시스템의 전력 수요가 급증하기 전까지 전력을 공급하기 위해 6V 레일을 사용했습니다. 이제 기능이 풍부한 오늘날의 차량은 12V 레일의 한계를 넘어서고 있습니다. 12V에서 48V로 전환해야 하는 어려움이 있지만, OEM이 48V의 저전압 레일을 채택하면 새로운 가능성이 열립니다.

머리말

원래 전자 제품에 게시됨

자동차 제조업체와의 최근 대화에서 48V 저전압 레일이 자주 등장했습니다. 하지만 왜 지금 일까요인가? 48V 시스템은 새로운 것이 아닙니다. 이는 수년 동안 마일드 하이브리드 전기 자동차(MHEV)의 효율성과 성능을 개선하는 데 도움을 주었습니다.

MHEV에서와 BEV에서의 48V

1990년대 후반에는 42V E/E 시스템에 대한 압박이 있었습니다. 그러나 OEM은 고효율 모터가 없다는 점을 감안하여 이 접근 방식을 포기했으며, 고전압 스타터 제너레이터를 사용하는 MHEV로 시장 전환되었습니다. 따라서 MHEV가 "최초의" 48V 시스템이었지만, ICE를 지원하기 위해 48V 배터리와 소형 전기 모터만 사용하여 연료 소비를 줄이고 효율성을 향상했습니다.

MHEV 내에서 E/E 시스템에 전원을 공급하는 주 저전압 레일은 12V로 유지되며, 48V와 12V 레일 사이에 큰 양방향 컨버터가 필요하므로 비용 부담이 커집니다. 반면 풀 하이브리드(HEV), 플러그인 하이브리드(PHEV) 및 BEV는 고전압 배터리를 사용하여 전체 E/E 시스템에 전원을 공급하기 위한 48V 저전압 레일을 생성할 수 있습니다.

트림 라인과 플랫폼이 제한되어 있기 때문에 미래의 BEV 플랫폼은 OEM이 48V 차량용 시스템을 구현하는 주요 목표였습니다. 전기 구동 차량으로의 전환도 HEV와 PHEV에 대한 투자를 늘렸습니다. **그림 1**은(는) 차량 유형 간의 차이점을 간략히 보여줍니다.

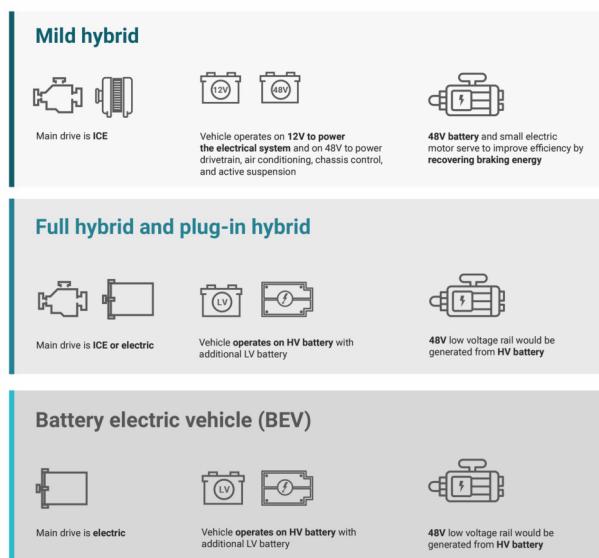


그림 1. 차량 파워트레인 유형 개요.

와이어 하네스 줄이기

와이어 하네스를 줄이려는 첫 번째 주요 시도는 영역 아키텍처의 도입으로, **그림 2**에 나와 있는 것처럼 기능별로 전력 분배, 통신 및 부하 작동을 그룹화하여 차량의 배선을

최적화합니다. 영역 아키텍처는 스마트 반도체 퓨즈를 사용하여 전력 분배를 위한 기존의 용융 퓨즈를 대체하고 중앙 컴퓨터에서 센서, 액추에이터 및 ECU(전자 제어 장치)로의 통신 게이트웨이 역할을 하여 차량 배선을 줄입니다.

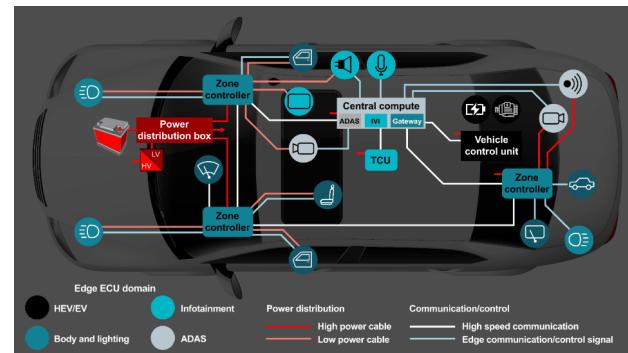


그림 2. 1세대 영역 아키텍처.

차세대 영역 아키텍처에 48V 저전압 레일을 포함하면 와이어 하네스 무게와 비용을 더욱 줄일 수 있습니다. 48V 레일은 회선 게이지를 줄이고, 와이어 하네스의 전력 손실을 줄이고, 동일한 양의 전력을(예: 12V에서 100%와 비교 시 25%)을 제공하기 위해 전류를 줄여서 PCB(인쇄 회로 보드) 크기를 줄일 수 있습니다. **그림 3**은(는) 12V에서 48V로 전환했을 때의 이점을 보여줍니다.

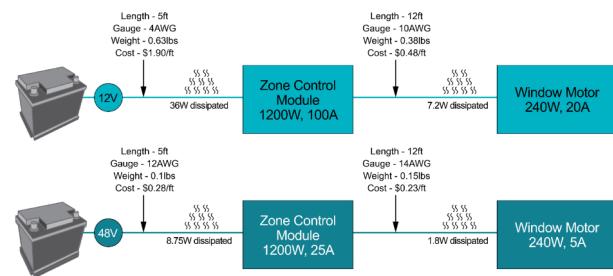


그림 3. 12V에서 48V로 전환 시 와이어 하네스 감소.

그림 3에서 영역 제어 모듈은 12V에서 1,200W를 공급하기 위해 100A가 필요합니다. 반대로 48V 레일은 1,200W를 공급하는데 25A만 필요합니다. 전압을 4배로 늘리고 전류를 4분의 1로 낮추면 와이어 하네스 비용과 무게가 85% 줄어듭니다. 원도우 모터의 경우 12V에서 20A가 48V에서 5A가 되므로 60%의 비용을 절감하고 회선 무게를 52%까지 절감할 수 있습니다. 부하 전류 요구 사항이 감소하면 48V로 전환할 때 얻을 수 있는 와이어 하네스의 이점 또한 감소합니다.

48V로 전환함으로써 얻을 수 있는 주요 이점은 회선 게이지를 줄이는 것이지만 회선 비용만이 유일한 요인은 아닙니다. 오늘날 4 AWG(미국 회선 게이지)와 같은 두꺼운 회선 게이지를 차량에 설치하는 일에는 많은 작업이 필요합니다. 48V 시스템에서 회선 게이지를 줄이면 와이어 하네스 설치를 위한 자동화된 제조 프로세스를 사용하여 비용을 크게 절감할 수 있습니다.

48V 아키텍처

48V 아키텍처를 위한 배선 하네스를 최적화할 때 OEM은 여러 아키텍처를 평가해야 합니다. **그림 4~그림 6**는 48V 저전압 레일을 구현할 때의 세 가지 옵션을 보여줍니다. 48V 1차 분배 및 12V 로컬, 48V 분배 및 12V 분배, 또는 12V 분배 및 48V 고전류 부하만 해당됩니다.

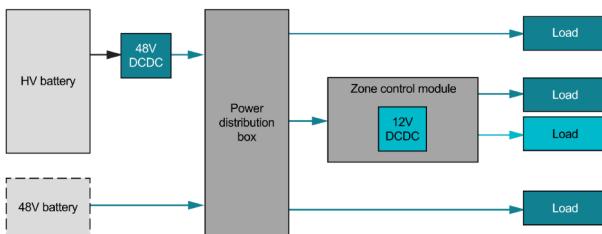


그림 4. 48V 아키텍처(48V 1차 분배, 12V 로컬).

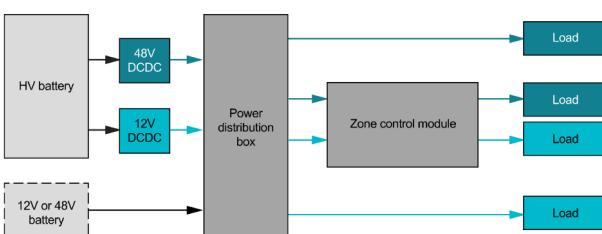


그림 5. 48V 및 12V 분배 - ZCM 48V 및 12V.

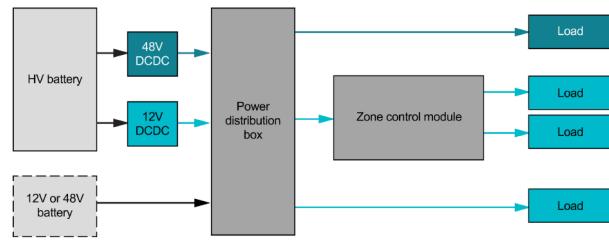


그림 6. 12V 1차 분배, 48V 고전류 부하.

48V 설계에 대한 가장 혁신적인 접근 방식은 48V 레일을 사용하여 고전류 부하에 전원을 공급하고 다른 모든 것은 12V로 유지하는 것입니다. 48V와 12V를 영역 제어 모듈 또는 기타 ECU에 분산할 수 있지만, 이 접근 방식은 몇 가지 문제를 일으킵니다. 서로 다른 두 전압의 분배로 인해 와이어 하네스의 라우팅이 중요한 요소로 작용합니다. 동일한 와이어 하네스에서 12V와 48V를 모두 라우팅하면 12V~48V의 잠재적 단락이 발생할 수 있기 때문입니다. 예비 12V 및 48V 공급전원이 필요할 수 있기 때문에 기능 안전을 고려하면 비용도 추가될 것입니다.

더 극적인 설계 변경은 48V 전력 분배 아키텍처로 직접 이동하고 필요에 따라 로컬에서 12V 레일을 만드는 것입니다. 로컬 12V와 48V 분배는 와이어 하네스 크기와 비용을 가장 크게 절감할 수 있기 때문에 48V로 전환할 때 가장 큰 이점을 얻을 수 있는 최고의 아키텍처입니다.

12V 로컬과 48V 분배에서는 ECU에서 로컬 12V 레일을 생성하거나 완전히 다른 전압(25V, 16V, 5V, 3.3V)을 선택하는 다양한 옵션이 있습니다. **그림 7**은(는) 48V 시스템에 대해 분산 및 중앙 12V의 두 가지 가능한 전원 아키텍처를 제공합니다.

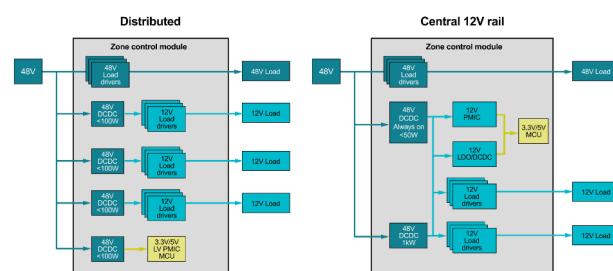


그림 7. ECU에서 48V의 전압 변환.

분산 아키텍처에서 전력 요구 사항이 낮은 여러 DC/DC 컨버터는 다양한 부하 그룹화를 위한 12V 레일을 생성할 수 있습니다. 이 접근 방식을 통해 금속 산화막 반도체 전계 효과 트랜지스터가 통합된 DC/DC 컨버터를 사용할 수 있

으며 전압(예: 48V~3.3V)을 자유롭게 선택하고 PCB 전체에서 더 나은 열 확산을 수행할 수 있습니다. OEM이 기존 12V 설계를 재사용하려는 경우 중앙 12V 레일이 더 쉬운 접근 방식입니다. 이 아키텍처에서 상시 가동 DC/DC 컨버터는 기능 안전이 중요한 부하에 전원을 공급하고, 전원 요구 사항이 높은 DC/DC 컨버터는 12V 시스템의 나머지 부분에 전원을 공급합니다. 또 다른 옵션은 양방향 48V-to-12V DC/DC 컨버터를 사용하여 모터의 역기전력을 허용하거나 12V 레일의 양극 과도 전압 에너지에서 48V 레일로 다시 흐르는 것입니다.

48V 설계 과제

48V 저전압 레일을 채택할 때의 설계 과제에는 과도 전압, 연면 및 간극 요구 사항, EMC(전자기 호환성) 표준, IC(통합 회로) 비용 등이 있습니다.

과도 전압은 48V 시스템에서 대화의 주요 주제입니다. 오늘날 12V 시스템은 부하 덤프와 같은 최악의 사례에 대한 전압 과도 곡선을 지정하는 ISO(국제 표준화 기구) 16750-2와 같은 표준으로 잘 알려져 있습니다. 48V 시스템의 경우 현재 사용 가능한 표준(ISO 21780 및 Liefervorschriften[LV] 148)은 최대 70V의 과전압 지점을 필요로 하는 MHEV용으로 작성되었습니다. 하지만 스위칭 과도 현상 또는 부품 여유를 고려하면 부품 등급이 70V보다 훨씬 높습니다.

MHEV에 대한 표준은 시작점으로 유용하지만, 고전력 스위칭 제너레이터 시스템 없이 고전압 배터리에서 48V를 생성하는 전기 또는 하이브리드 시스템에 반드시 유효한 것은 아닙니다. BEV 48V 저전압 네트워크와 관련된 정확한 표준은 여전히 정의되고 있지만 OEM은 70V 미만의 라인 과도 현상을 포함하도록 자체 표준을 정의하기 시작할 수 있습니다. **그림 8**에서는 잠재적인 BEV 표준을 기준 ISO 21780 표준과 비교합니다.

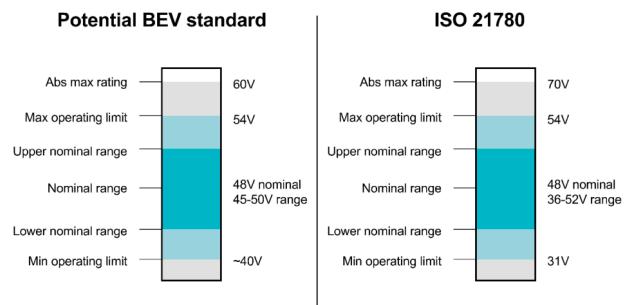


그림 8. 잠재적 BEV 표준과 ISO 21780 과도 전압 비교.

60V와 70V의 차이는 작아 보일 수 있지만, 더 높은 전압을 수용하기 위한 IC 비용은 반드시 선형적으로 확장되지는 않습니다. 또한 전원 공급 범위를 포함할 수 있더라도 ISO 7637-2와 같은 현재 표준에서 다른 하드웨어 고장 모드 이벤트의 가능성을 고려하는 것이 중요합니다.

연면 및 간극 요구 사항은 PCB의 모든 전도성 부품 사이의 최단 거리에 대한 업계 표준 측정입니다. 이는 두 지점 사이의 전압이 고장 전압을 초과할 때 발생하는 아크를 방지하기 위한 중요한 설계 매개 변수입니다. 연면 및 간극에 대한 다양한 표준이 있으며(국제 전기 기술 위원회 60664-1 및 인쇄 회로 2221A) OEM은 자체 내부 지침을 보유하고 있을 수도 있습니다. 12V에서 48V로 전환하면 연면 및 간극 요구 사항이 늘어나 IC 패키지, PCB 레이아웃, 와이어 하네스 커넥터 등에 직접 영향을 미칩니다.

48V 시스템의 미묘한 영향 중 하나는 전도 손실을 줄이는 데 도움이 되지만 스위칭 손실은 증가한다는 점입니다. 이는 DC/DC 컨버터 및 모터 드라이브와 같은 스위칭 전력 컨버터를 위한 EMC 테스트와 관련이 있습니다. 전압(V_{DS})을 12V에서 48V로 높이면 전류(I_{DS})가 줄어듭니다. 그러나 48V 시스템의 회전율($t_R + t_F$)이 12V 시스템과 동일하게 유지되면 전력 스위칭 손실(P_{SW})이 4배가 됩니다.

스위칭 손실에 영향을 미치는 요인이 더 많지만 **그림 9**은 (는) 회전율이 48V 시스템의 스위칭 손실에 어떤 영향을 미치는지 보여줍니다. DC/DC의 전도 방출을 줄이는 방법에 대한 자세한 내용은 애플리케이션 노트 "**48V 차량용 애플리케이션을 위한 블리 컨버터의 전도 EMI 감소**"를 참조하십시오.

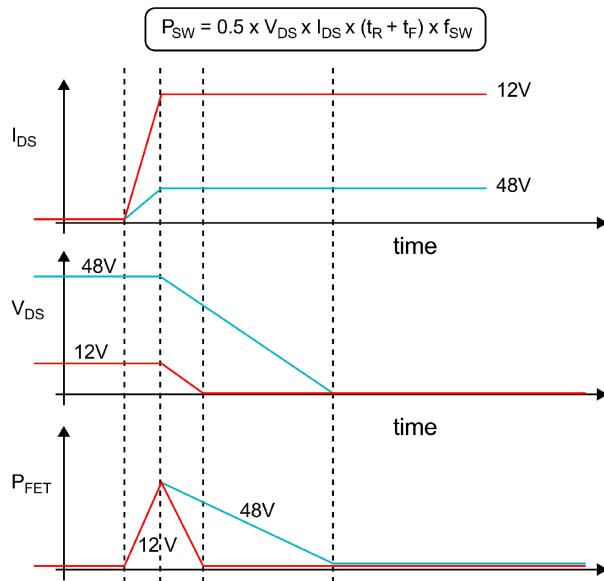


그림 9. EMC의 스위칭 손실 영향.

결론

48V 시스템은 와이어 하네스의 무게와 게이지를 줄여 회선의 실제 구리와 제조 시 비용을 절감할 수 있지만 결국 중요한 것은 비용입니다. 48V를 채택하면 IC 레벨이나 시스템 레벨에서 비용에 영향을 미치는 많은 이점과 과제가 있습니다. OEM은 48V 시스템을 통합하는 시기와 방법을 결정하여 이점을 극대화하고 비용을 절감할 것입니다. 시장과 반도체 공급업체는 최근 차량 혁신에서 입증되었듯이 48V 시스템을 사용할 준비가 되어 있습니다.

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 소유자의 자산입니다.

© 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](#) 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