

캐스케이드 방식의 이상적인 다이오드: 48V EV 전원 문제 해결

Shiven Dhir

Applications Engineer
Input Power Protection and Distribution

Rakesh Panguloori

Applications Manager
Input Power Protection and Distribution

기존의 12V 네트워크 외에도 48V 배터리 서브시스템의 사용이 증가하면서 HEV/EV 전원 시스템 설계에 눈에 띄는 변화가 일어나고 있습니다. 48V는 무거운 케이블 연결 없이 더 많은 전력을 공급하여 와이어 하네스의 전력 손실을 줄여 구동 범위를 늘립니다. 이러한 변화를 통해 차량 전력 분배 아키텍처는 기존의 중앙 집중 방식에서 **그림 1과 같이 전력 분배, 통신 및 부하 작동이 기능별이 아닌 차량에서의 위치에 따라 그룹화되는 영역 접근 방식으로 전환되고 있습니다.** 영역 아키텍처는 시스템 복잡성을 줄이고 OEM(Original Equipment Manufacturer)에 더 많은 모듈성을 제공합니다.

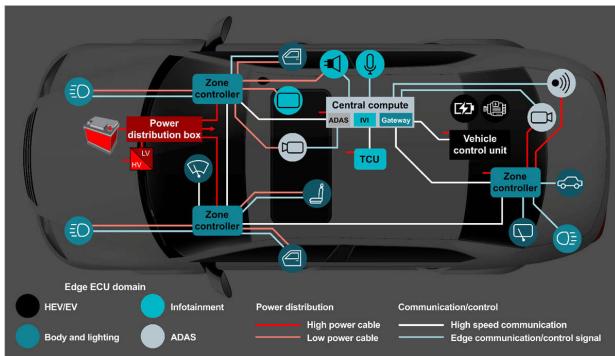


그림 1. 최신 차량의 영역 아키텍처

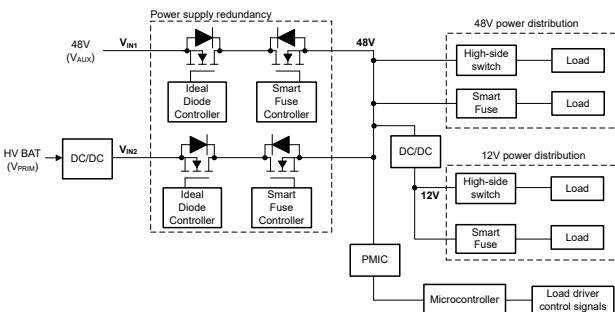


그림 2. 영역 제어 모듈의 일반적인 전력 분배

그림 2는 영역 제어 모듈의 이중화 전원 공급 장치를 실현하기 위해 여러 전원을 사용하는 일반적인 전력 분배를 보여줍니다. 이상적 다이오드는 백서 "**이상적 다이오드의 기본 사항**"에서 설명한 것처럼 역전류 차단 및/또는 역극성이 필요한 애플리케이션에 적합합니다. 이상적인 다이오드는 역전류 방지 기능을 제공하므로 여러 전원을 결합하여 시스템 이중화를 높이는 애플리케이션에서도 유용합니다[2]. 그러나 시중에 나와 있는 기존의 이상적인 다이오드 컨트롤러는 최대 정격 절대값이 72V로만 제한되어 있어 특정 48V 시스템 설계를 지원하는 데 한계가 있습니다.

이 문서에서는 48V 시스템을 위한 ORing 단계를 설계하는 과제와 캐스케이드 방식의 이상적인 다이오드 구성을 통해 안정적인 ORing 솔루션이 입력 전원 중단 및 외부 과도 이벤트를 안전하게 처리하는 방법에 대해 설명합니다.

과제 1: 역방향 전원 오류 시 고전압 응력

그림 2에서 볼 수 있듯이 주 전력 분배에는 원활한 전력이 필요합니다. 고전압 배터리(VPRIM)는 48V 레일용 DC/DC 컨버터에 의해 스텝다운되고 백업 48V 보조 전원(VAUX)은 ORing 시 이중 전원을 제공합니다. VIN1에서 역방향 극성 오류가 발생하는 경우 DC/DC 컨버터 출력 VIN2는 간소화된 **그림 3**에 표시된 것처럼 전체 부하에 전원을 공급합니다. 그러나 이로 인해 보조 전원 경로의 ORing에 대해 높은 전압 응력이 발생합니다. 48V 소스는 최대 54V에 도달하여 컨트롤러 **LM74700D-Q1**의 CATHODE-ANODE 핀 간에 108V의 큰 전압 차이를 생성할 수 있으며, 최대 정격 절대값 75V를 초과할 수 있습니다. 또한 이 솔루션에는 60V FET보다 상대적으로 더 비싸고 여러 벤더로부터 공급받기가 어려운 최소 120V 정격의 MOSFET이 필요합니다.

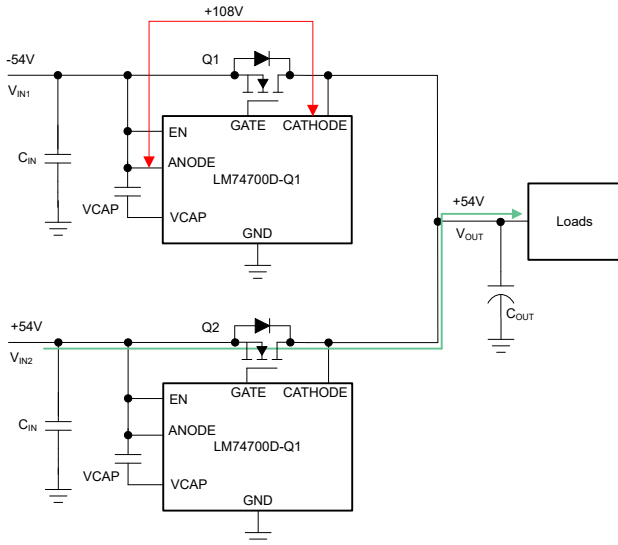


그림3. 입력 역방향 극성 상태에서의 전압 응력

과제 2: LV148 부하 덤프 및 스위칭 과도 준수

부하 차단 및 짧은 가속기 팁 인으로 인해 전기 시스템에서 과도 과전압이 발생할 수 있습니다. 48V 시스템의 경우 현재 사용 가능한 표준(ISO 21780 및 Liefervorschriften[LV] 148)에 그림 4에 표시된 것처럼 E48-02 과도 과전압 프로파일이 지정되어 있습니다. 이 프로파일에서는 최대 70V 까지 상승하여 40ms 동안 유지되며, 일부 OEM은 100ms를 필요로 하기도 합니다. DUT(테스트 대상 장치)는 기능 상태 A에서 이러한 이벤트를 견뎌야 하고 DUT는 모든 기능을 수행할 수 있어야 합니다. 이러한 높은 전력과 넓은 과도에서는 TVS 또는 제너 다이오드를 사용한 클램핑 방법은 현실적이지 않습니다. 간단히 말해서, 48V 레일에 직결된 통합 회로는 모든 조건에서 70V를 견뎌야 합니다. 하지만 스위칭 과도 또는 부품 마진을 고려하면 장치가 70V보다 더 큰 값을 지원해야 합니다. ANODE-GND간의 최대 정격 절대값이 72V인 기존의 이상적인 다이오드 컨트롤러는 시스템 설계자에게 더 적은 마진을 남깁니다.

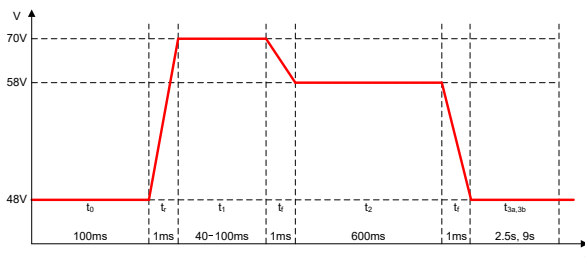


그림4. LV 148의 E48-02 과도 과전압 프로파일

단일 컨트롤러 기반 솔루션

그림 5는 단일 LM74700D-Q1을 사용하는 솔루션을 보여주지만, 제너 클램프 회로를 사용하면 컨트롤러의 CATHODE-ANODE 핀 사이의 큰 전압 차이(108V)를 줄일 수 있습니다. 제너 다이오드 DZ는 CATHODE-ANODE사이의 전압을 최대 정격 절대값(75V) 미만으로 제한할 수 있으며 저항 RZ는 DZ를 적절하게 바이어싱할 수 있습니다. 그러나 이 솔루션에는 60V FET보다 비교적 비싸며 여러 번 더로부터 공급받기가 어려운 최소 120V 정격의 MOSFET이 필요합니다. 또한 정상 작동 시 저항 RZ는 CATHODE 경로에 추가 강하를 유발하며, 이는 역전류 방지 임계값에 영향을 미칩니다.

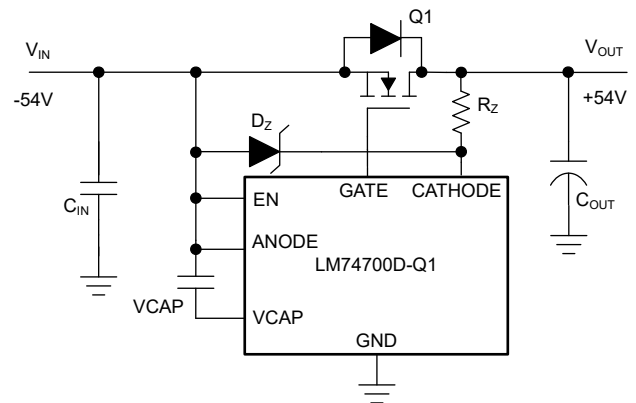


그림5. 단일 고전압 MOSFET을 사용한 솔루션

제안된 캐스케이드 방식의 이상적인 다이오드 구성

그림 6에서 볼 수 있는 것처럼 제안된 솔루션은 MOSFET Q1 및 Q2가 직렬 구성으로 연결된 2개의 이상적인 다이오드 컨트롤러를 사용합니다. 각 컨트롤러의 클램핑 회로는 CATHODE와 ANODE 사이의 차이를 75V 미만으로 유지할 뿐만 아니라 오류 이벤트 중에 Q1과 Q2 사이에 동일한 전압을 공유하기 위한 등화 네트워크 역할도 합니다. 두 가지 일반적인 오류 상황에서 회로가 어떻게 작동하는지 살펴 보겠습니다.

케이스 1: 가동 시 출력(VOUT)이 54V에서 전원을 공급받고 입력 VIN은 0V에서 전원을 공급받으면 중간 지점 전압 VMID는 0V로 유지됩니다. 두 번째 LM74700D-Q1 컨트롤러는 VOUT > VMID의 역전류 차단 상태로 인해 GATE2 셧다운을 유지하고 Q2가 54V를 차단합니다. 이 경우 사용자는 VIN에서 54V의 역전압을 인가하며, 첫 번째

LM74700D-Q1 컨트롤러는 ANODE < 0V의 역방향 극성 상태로 인해 GATE1을 꺼짐 상태로 유지하고 Q1이 54V를 차단합니다.

케이스 2: 이 경우에는 VIN이 오류 상태(예: -54V에서)에서 가동되고 시스템에 VOUT = 54V로 전원이 공급됩니다. 중간 지점 전압 VMID는 첫 번째 **LM74700D-Q1** 컨트롤러가 GATE1을 꺼짐 상태로 유지하여 VMID에서 역전압을 차단하므로 0V로 유지됩니다. 마찬가지로, 두 번째 **LM74700D-Q1** 컨트롤러는 역전류 차단 상태로 인해 GATE2 셧다운을 유지합니다. MOSFET Q1과 Q2는 모두 54V의 전압 응력을 받습니다. MOSFET의 전압이 오류 조건에서 60V 미만이기 때문에, 이 솔루션은 고객이 여러 번 더로부터 쉽게 공급받을 수 있는 기존 60V 정격의 FET를 선택할 수 있는 유연성을 제공합니다.

그림 6에서 볼 수 있듯이 이 솔루션은 또한 접지 경로에 과도 클램핑 네트워크(DC, Q3, RB 및 DB)를 통합하여 LM74700D-Q1의 최대 정격 절대값을 초과하는 스위칭 과도 전압을 처리합니다. 정상 작동 시 장치 접지와 시스템 접지 사이의 전위 차이는 Q3의 VBE에 불과하지만, VIN이 다이오드 DC의 항복 전압(VBR-DC)을 초과할 때마다 트랜지스터 Q3이 전압을 떨어뜨리고 장치 접지 전위를 높입니다. 이를 통해 DC의 항복 전압에 가깝게 **LM74700D-Q1**의 ANODE-GND 전압 차이를 제한하여 확장 가능한 과도 처리 솔루션을 유용하게 사용할 수 있습니다. 다이오드 DB의 목적은 입력 전원 역방향 상태에서 역전류 경로를 차단하는 것입니다.

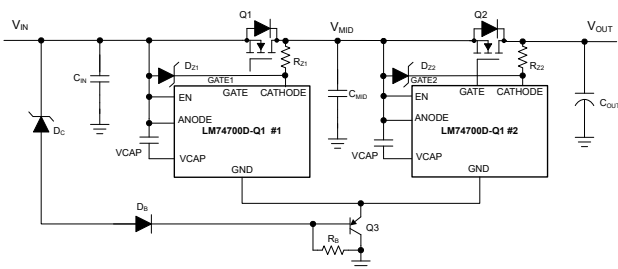


그림 6. 캐스케이드 방식의 이상적인 다이오드 구성

부품 선택 및 테스트 결과

이러한 결과를 얻으려면 시스템의 주요 부품을 선택하는 방법을 고려하는 것이 중요합니다.

이상적인 다이오드 MOSFET Q1 및 Q2의 경우, 60V VDS(최대) 및 +/-20V VGS(최대)는 모든 오류 상태에서 충

분한 마진을 제공합니다. 공칭 전류에서의 RDS_ON: (20mV/공칭 전류) ≤ **RDS_ON** ≤ (50mV/공칭 전류)는 낮은 역전류를 가지는 것이 중요합니다. 예를 들어 5A 설계에서 RDS_ON 범위는 4mΩ~12.5mΩ입니다.

MOSFET 게이트 임계값 전압 Vth는 최대 2V여야 합니다.

PNP 트랜지스터 Q3은 제너 다이오드 DC가 활성화된 후 최대 전압 강하를 보이며 (VIN-MAX - VBR-DC)보다 큰 전압에 대한 정격을 가져야 합니다. 또한 mA 수준 미만의 LM74700D-Q1의 정동작 전류를 지원해야 합니다. BC857-Q와 같은 트랜지스터를 사용할 수 있습니다.

제너 다이오드 DZ1 및 DZ2의 경우 CATHODE-ANODE의 차이를 75V 미만으로 제한하기 위해 BZX84J-B62와 같은 62V 제너를 선택해야 합니다. **제너 다이오드 DC**의 경우 DC의 항복 전압(VBR-DC)에 따라 VIN의 스위칭 과도에 대한 ANODE-GND핀 사이의 클램핑 전압이 결정됩니다. BZX84J-B62와 같은 62V 제너를 사용하면 LM74700D-Q1에 대해 충분한 마진으로 전압을 제한할 수 있습니다. **차단 다이오드 DB**는 최대 입력 전원 역전압에 가까운 차단 전압 용량을 가지고 있어야 하므로 NSR0170P2T5G와 같은 최소 60V 정격의 다이오드를 선택합니다.

저항 RZ1 및 RZ2는 DZ1 및 DZ2를 위한 바이어스 저항입니다. 1kΩ~2kΩ 사이의 값이면 충분합니다. **저항 RB**는 DC를 위한 바이어스 저항이며, 10kΩ~47kΩ 사이의 값이면 충분합니다.

그림 7 및 8은 시스템 가동 전과 시스템 가동 후에 입력 역극성 기능이 적용되는 경우 MOSFET 전반에 걸친 드레인-소스 전압 분포를 보여줍니다. 여기에서 볼 수 있듯이 MOSFET은 각 MOSFET에서 최대 전압이 60V 미만인 동일한 전압을 공유합니다. **그림 9**는 VIN에서 70V 부하 덤프 이벤트를 위해 ANODE-IC-GND의 차이를 62V로 클램핑하는 접지 경로 과도 클램핑 네트워크의 성능을 보여줍니다.

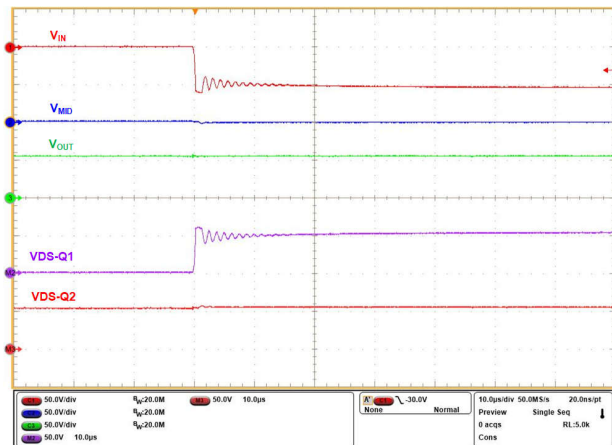


그림 7. 입력 역방향 극성 상태에서 MOSFET의 전압 공유

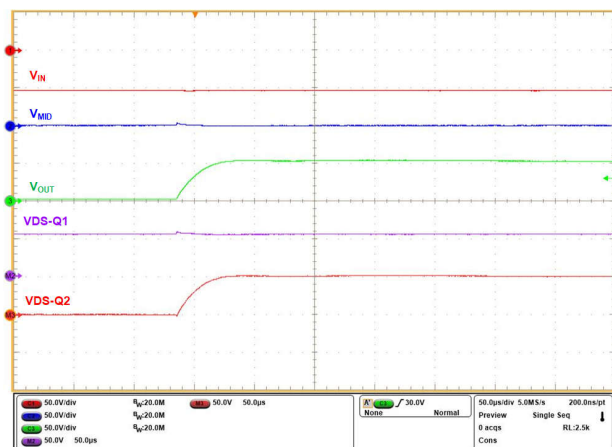


그림 8. 출력에서 핫 플러그 시 MOSFET의 전압 공유($V_{IN} = -54V$)

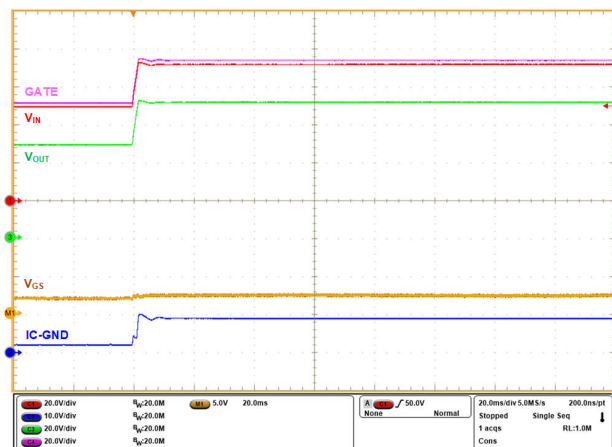


그림 9. 70V 부하 덤프 이벤트에 대한 제안된 솔루션의 응답

결론

48V 시스템은 많은 장점을 제공하지만, 전력 분배 단계에서 이중 전원 ORing에 대한 새로운 과제 또한 가지고 있습니다. 접지 경로 과도 클램핑 네트워크를 지원하는 제안된 캐스캐이드 방식의 이상적인 다이오드 구성은 여러 벤더로부터 공급받기 쉬운 기존 60V 정격의 FET를 사용한 시스템 설계를 지원합니다. 또한 제안된 접근 방식은 스위칭 과도에 대한 적절한 전압 마진을 제공하여 48V 시스템에서 안정적인 ORing 솔루션을 지원합니다.

참고 자료

1. "이상적인 다이오드의 기본 사항" 텍사스 인스트루먼트 애플리케이션 보고서, 문서 번호 SLVAE57B, 2021년 2월.
2. "이상적인 다이오드 컨트롤러를 사용하는 차량용 이중 전원 토폴로지" 텍사스 인스트루먼트 아날로그 디자인 학술지, 문서 번호 SLYT848, 2024년 3월.
3. 텍사스 인스트루먼트, **LM74700D-Q1 차량용 낮은 IQ 역방향 배터리 보호 이상적인 다이오드 컨트롤러**, 데이터 시트.

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 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 **TI의 판매 약관**, **TI의 일반 품질 지침** 또는 **ti.com** 이나 해당 TI 제품과 함께 제공되는 기타 조건의 적용을 받습니다. TI가 이러한 리소스를 제공한다고 해서 TI 제품에 대한 TI의 해당 보증 또는 보증 부인 정보가 확장 또는 기타의 방법으로 변경되지 않습니다. TI가 명시적으로 제품을 사용자 정의 또는 고객 정의용으로 지정하지 않는 한, TI 제품은 범용의 표준 카탈로그 장치입니다.

TI는 사용자가 제안할 수 있는 어떠한 추가적이거나 상이한 조건도 반대하며 이를 거부합니다.

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

최종 업데이트: 2025/10/25

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), 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 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](#), [TI's General Quality Guidelines](#), 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. Unless TI explicitly designates a product as custom or customer-specified, TI products are standard, catalog, general purpose devices.

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

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

Last updated 10/2025