

Technical Article

인터리브 접지면을 사용하여 절연 전원 공급 장치의 잡음 필터링 개선



Josh Mandelcorn

역사적으로 차량용 전자 장치는 시동을 거는 데 사용되는 12V 납산 배터리로 전원을 공급받아왔습니다. 발전기가 작동 중이고 배터리 케이블이 분리되었을 때 발생할 수 있는 최대 42V의 서지에서도 전압이 60V_{DC} 미만의 안전 추가 저전압(SELV) 범위에서 유지됩니다. 따라서 차량용 회로에서 전기 충격 위험을 피하기 위해 PCB(인쇄 회로 보드) 트레이스의 간격에 대해 걱정할 필요가 없었습니다.

전기 자동차(EV) 모터가 작동하려면 더 높은 전압(400V 또는 800V)이 필요하기 때문에 이제 차량용 애플리케이션에서 감전 위험이 걱정됩니다. AC 주전원에 연결된 회로와 유틸리티 전원으로 구동되는 SELV 회로 사이의 경계에 적용되는 것과 동일한 엄격한 간격이 이제 전기차의 고전압 배터리에 연결된 회로와 인포테인먼트 및 차체 전자 장치(주로 조명)와 같은 12V 시스템에서 구동되는 SELV 회로 사이의 경계에도 적용됩니다.

CISPR 25 고장

고전압 EV 배터리를 통해 작동하는 트랙션 인버터에서 고전력 반도체 스위치를 구동하는 데 필요한 많은 바이어스 전원 공급 장치는 저전압 12V 시스템에서 전원을 공급받습니다. 문제는 이러한 절연 전원 공급 장치가 많은 공통 모드 잡음을 12V 자동차 배터리 라인으로 다시 펌핑하여 108MHz까지 확장되는 자동차 CISPR(국제 전파 간섭 위원회) 25 전도성 방출 제한을 위반한다는 점입니다. 이 잡음은 주로 바이어스 공급의 절연 변압기의 1차 권선과 2차 권선 사이에 정전식으로 커플링되는 메인 스위칭 파형에 의해 발생합니다. 1차 접지와 2차 접지 사이에 서지 전압 정격이 높은 바이패스 커패시터(Y-커패시터)가 작은 루프를 생성하여 이 공통 모드 잡음을 대부분 억제하고 배터리 라인의 공통 모드 필터링이 이 잡음을 더욱 줄여 CISPR 25 제한을 통과할 수 있도록 합니다.

차량용 회로의 간격 요구 사항

고전압 전기차 배터리와 대부분의 기존 차량용 회로에 사용되는 저전압 12V 배터리 시스템 사이의 간격을 강화하기 위해 일반적으로 8mm의 간격을 목표로 합니다. 이는 400V_{RMS}, 오염도 2 및 재료 그룹 III 또는 800V_{RMS} 오염도 2는 동일하지만 재료 그룹 I에 적용됩니다. 간격 요구 사항에 대한 자세한 내용은 국제전기기술위원회(IEC) 60664-1 표준인 "저전압 공급 시스템 내 장비의 절연 조정 1부": 원칙, 요구 사항 및 테스트"를 참조하십시오.

다중 계층 PCB의 연면 및 클리어런스 요구 사항 충족

IEC의 엄격한 간격 요구 사항은 오염된 공기에 노출된 표면의 고전압 고장(연면거리)과 공기 자체의 고장 또는 아크(클리어런스)로 인해 발생합니다. 변압기나 집적 회로(IC)와 같은 1차-2차 장벽을 연결하는 부품 내부와 공기 또는 수분 노출이 없는 다층 PCB의 내부 레이어를 연결하는 구성 요소 내에서, 장벽이 수 킬로볼트 고전위 테스트를 견딜 수 있는 한 간격 요구 사항이 훨씬 적습니다. 강화 장벽 애플리케이션에 사용되는 IC의 일반적인 테스트 레벨은 5kV로, 4개 이상의 레이어가 있는 PCB가 내부 레이어에 1차 및 2차 접지를 인터리브할 수 있습니다. 내부 레이어 내에는 간격 요구 사항이 있지만 공기에 노출된 레이어에 대한 요구 사항보다 크게 줄어듭니다. 일부 애플리케이션의 경우 800V 배터리 시스템에서는 1mm 간격이면 충분할 수 있습니다.

절연 DC/DC 컨버터를 사용한 데모

UCC12051-Q1 절연 DC/DC 컨버터의 CISPR 25 클래스 5 제한 대비 방출 성능을 입증하기 위해 두 개의 보드를 제작했습니다. 이 컨버터는 일반적인 배터리 라인 전자기 간섭 필터를 사용하여 100mA로 로드되는 5V 입력 및 5V 출력용으로 설계되었습니다. 한 보드(미공개)는 4개의 레이어 모두에서 1차측과 2차측 간 간격이 8mm였고, 한 보드(차량용 CISPR 25, 클래스 5 방출, 레퍼런스 디자인용 절연 5V 바이어스 공급 장치)는 2개의 내부 레이어에서 1차측과 2차측 접지를 인터리브할 수 있으며 1차측과 2차측 접지 간 간격이 1mm였습니다. 1차 접지부터 2차 접지까지의 추가 유효 커패시턴스는 약 11pF였습니다. UCC12051-Q1 내부의 절연 컨버터는 CISPR 25 문제의 첫 번째 주파수가 32MHz에서 네 번째 고조파가 되도록 8MHz에서 스위칭합니다.

그림 1은 1차 접지에서 2차 접지까지 커패시터가 있는 IC 절연 컨버터를 보여주는 절연된 5V 레퍼런스 설계 회로도의 스니펫으로, 컨버터의 절연 변압기에 의해 생성되는 고주파 잡음을 포함합니다. 미출시 보드는 PCB 레이어 인터리빙이 없다는 것을 제외하고 절연 5V 레퍼런스 설계와 동일합니다.

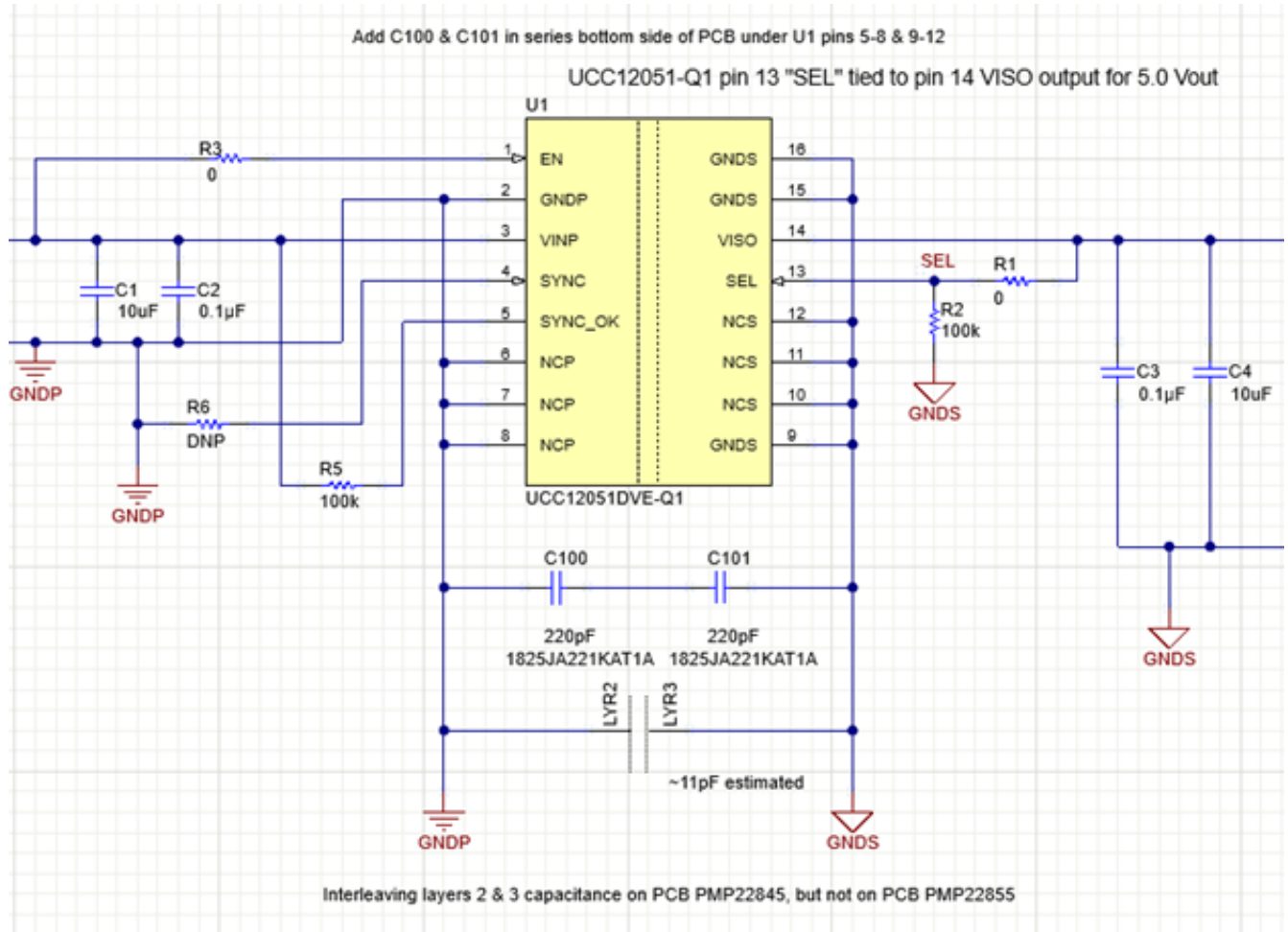


그림 1. 바이패스 커패시터 C100과 C101 및 인터리빙 내부 레이어 커패시턴스를 보여주는 절연 5V 레퍼런스 설계에서 DC/DC 컨버터의 1차 및 2차 인터페이스. 출처: 텍사스 인스트루먼트

안전을 위한 이중화가 필요하고 1차부터 2차까지 전체 간격을 유지해야 하기 때문에 1차 및 2차 접지를 직렬로 배치해 2개의 Y 커패시터(C100과 C101)를 배치했습니다. 따라서 유효 커패시턴스는 각 커패시터의 값의 절반입니다. 경우에 따라 필요한 간격을 유지하기 위해 3개의 병렬 커패시터(330pF 커패시터)가 필요합니다.

그림 2에서 왼쪽 이미지는 모든 레이어에 대해 8mm 간격으로 릴리스되지 않은 보드입니다. 오른쪽 이미지는 8mm의 간격과 내부 레이어가 1mm 간격인 절연 5V 레퍼런스 설계이며, 1차 접지면과 2차 접지면이 겹치는 것을 허용합니다.

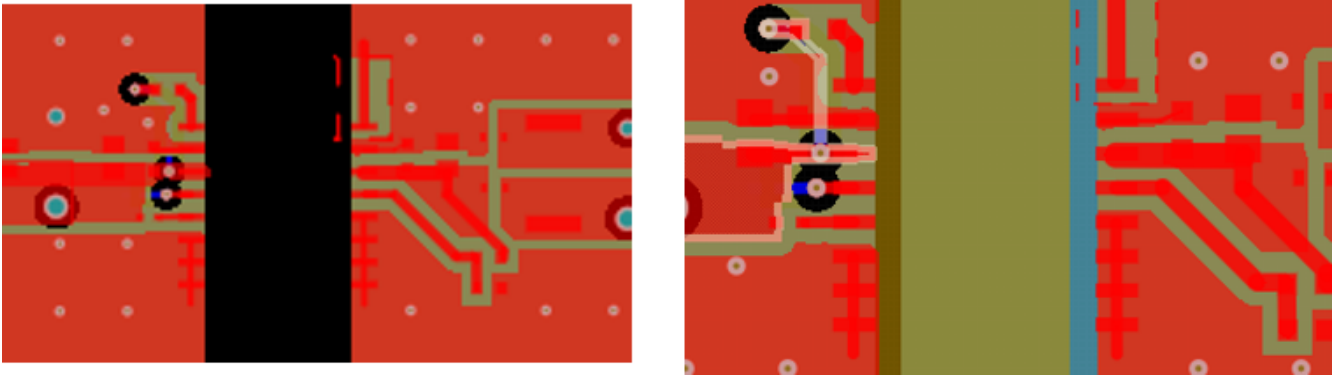


그림 2. 모든 레이어의 8mm 간격(왼쪽)과 상단 및 하단 레이어에서만 8mm 간격(오른쪽): 상단 레이어는 빨간색이고, 레이어 2는 어두운 녹색, 레이어 3은 밝은 파랑, 레이어 4는 황갈색, 레이어 2와 3의 겹치는 부분은 밝은 녹색, 어떤 레이어의 구리도 검정색이 아닙니다. 출처: 텍사스 인스트루먼트

방사 방출량과 CISPR 25 비교

절연 5V 레퍼런스 설계를 통해 1차와 2차 접지 사이에 11pF의 커패시턴스가 추가되어 200MHz 이상의 방사 방출에만 도움이 될 것으로 예상했습니다. 그리고 실제로 인터리빙 레이어는 바이패스 커패시터 C100과 C101(그림 3)이 없어도 200MHz를 초과하는 모든 주파수에 대해 방사 방출이 CISPR 25 클래스 5를 통과할 수 있도록했습니다. 인터리빙 레이어가 없어도 동일한 주파수 범위를 통과하기 위해 1차와 2차 접지 사이에 추가 Y 커패시터가 필요했습니다. 배출 테스트 설정에 대한 [테스트 보고서를](#) 참조하십시오.

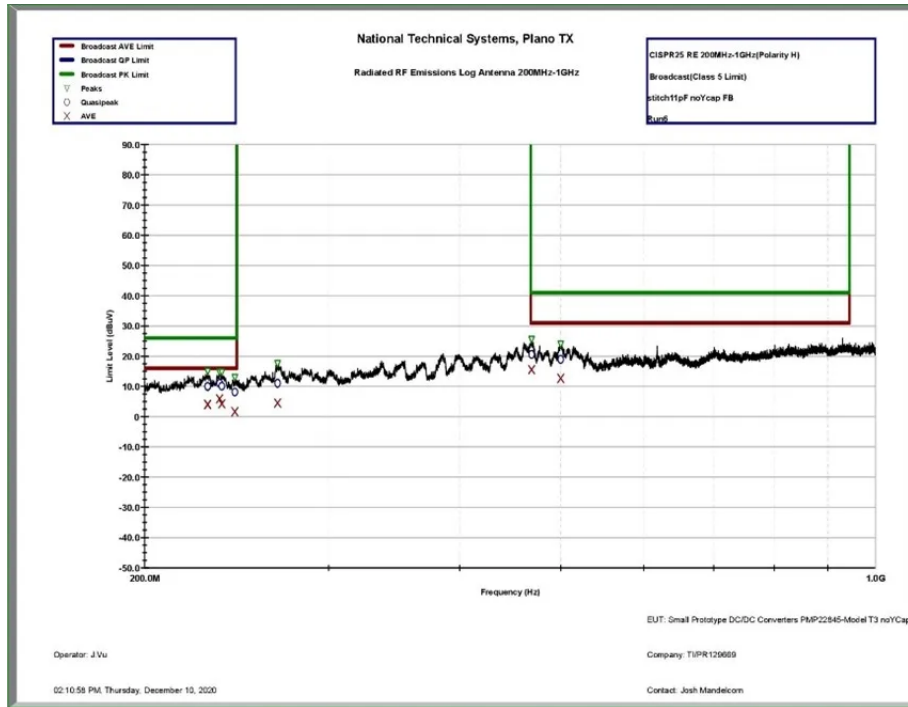


그림 3. 추가 Y 커패시터 없이 200MHz보다 높은 CISPR 25 클래스 5의 방사 방출 비교. 이 특정 스캔은 절연된 5V 레퍼런스 설계 테스트 보고서에 없습니다. 보드는 10dB 이상의 여유로 한계를 통과했습니다. 출처: 텍사스 인스트루먼트

놀라운 사실은 엄격한 전도 방출 제한을 사용하여 30 ~ 108MHz 범위의 필터링(C101 및 C102)이 크게 향상된다는 것이었습니다. 1차 접지와 2차 접지 사이에 110pF의 유효 추가 커패시턴스를 사용하여 인터리빙은 전체 30~108MHz 범위에서 약 4~8dB까지 전도 잡음을 감소시켰습니다. 이 주파수 범위에서 인터리빙은 4dB의 실패를 4dB의 여유를 두고 통과로 변환했습니다.

전도성 배출과 CISPR 25 비교

그림 4 및 그림 5은 이 두 보드의 전도 방출 스캔을 보여 주며, 유일한 차이점은 내부 레이어 인터리빙입니다. 두 스캔 모두 동일한 라인 임피던스 안정화 네트워크(LISN)에 있었습니다. 동일한 공통 모드 배터리 라인 필터링과 5V 출력에서 100mA의 부하가 있었습니다.



그림 4. 절연 5V 레퍼런스 설계(인터리빙 레이어 포함) 전도성 방출 대비 CISPR 25 클래스 5, 30~108MHz: 4.5dB 마진으로 통과했으며, 최악의 경우 82MHz에서 "CISPR 평균" 검출이 발생했습니다. 출처: 텍사스 인스트루먼트



그림 5. 미출시 보드(인터리빙 레이어 없음) 전도성 방출 대비 CISPR 25 클래스 5, 30~108MHz: 3.8dB의 마진으로 실패했으며, 최악의 경우 32MHz에서 CISPR 평균 검출이 발생했습니다. 출처: 텍사스 인스트루먼트

약 11pF의 커패시턴스를 가진 인터리빙 레이어는 Y-커패시터의 유효 커패시턴스 110pF에 11pF를 추가하는 것보다 필터링에 훨씬 더 많이 기여하여 필터링을 약 1dB 개선할 수 있습니다. 내부 레이어 접지면은 브리징 Y-커패시터의 유효 인덕턴스를 줄이고 이러한 고주파 고조파를 더 잘 선평할 수 있도록 합니다.

이러한 필터링 개선은 인접 접지면의 이점을 더해, 출력 잡음을 제한하고, 비절연 애플리케이션에서 방출을 제어하거나 반도체의 응력과 오류를 줄이는 것이 목표인지 여부와 관계없이 커패시터 필터링의 성능을 향상시킵니다.

관련 콘텐츠

- 전원 팁 #117: 전체 작동 조건에서 테스트하기 전에 LLC 공진 탱크 측정
- 전원 팁 #116: PFC의 THD를 줄이는 방법
- 전원 팁 #115: GaN 스위치 통합으로 PFC에서 낮은 THD와 높은 효율성을 구현하는 방법
- EV 설계에서 EMI가 확산되는 것을 방지
- 새로운 EMI 위협이 있습니까?

추가 리소스

- PCB 연면거리 계산기를 사용하여 강화된 절연 이중 결과를 확인하세요.
- 텍사스 인스트루먼트에서 자세히 보기:
 - "오토모티브 애플리케이션에서 더 높은 절연 연면 클리어런스 요구 사항을 충족하는 방법 &."
 - "전원 팁: 접지면 - 스위칭 레귤레이터의 잡음 관리에 중요한 요소."
 - "차량 배기 가스 요구 조건을 준수하기 위한 동력 변환 기술."
 - "유도성 기생을 최소화하여 벅 컨버터 EMI 및 전압 응력 축소."

관련 표준

- IEC 60664-1 저전압 공급 시스템 내의 장비에 대한 절연 조정 - 1부: 원칙, 요구 사항 및 테스트
- IEC 61800-5-1 속도 조정 가능한 전기 구동 시스템 - 5-1부: 안전 요구 사항 - 전기, 열 및 에너지
- 상호 연결 및 포장 전자 회로(IPC) 2221B 인쇄 보드 디자인에 대한 일반 표준 연구소
- CISPR 25 Ed. 5.0 b 2021 차량, 선박 및 내연 엔진 - 전파 교란 특성 - 차량/선박 내 수신기 보호를 위한 측정 한도 및 방법

이전에 [EDN.com](https://www.edn.com)에 게시됨 .

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 비침해에 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.com에서 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 © 2024, 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 © 2024, Texas Instruments Incorporated