

절연 ADC 신호 체인 솔루션을 위한 낮은 EMI 설계

Dr. Ralph Oberhuber
Precision Analog-to-Digital Converters

머리말

오늘날 사용되는 전자기기의 크기가 줄고 장치의 크기가 줄고 있어 전자기 간섭(EMI)이 회로 설계자에게 중요한 문제가 되었습니다. 통신, 컴퓨팅 및 자동화에 사용되는 회로는 가까운 곳에서 작동해야 합니다[1]. 또한 제품은 정부 전자파 적합성(EMC) 규정을 준수해야 합니다. 거의 모든 국가에서 국경 내에서 판매되는 전자 제품의 EMC를 규제합니다. 미국의 경우 FCC(Federal Communications Commission)는 모든 상업용(비군사용) 전자기 방사선원[2]을 규제하고 ANSI(American National Standards Institute)의 표준 C63.4[3]와 같은 표준에서 방사 및 전도된 EMI 테스트 절차를 정의합니다. EU(유럽 연합)의 국가들은 전자기 방출과 전자 장치의 내성을 모두 규제하고 있으며, 전자기 적합성 지침 [4]은 기본적으로 장비가 EMC의 통합 표준을 준수해야 하며 이에 따라 테스트 및 라벨을 부착해야 한다고 명시하고 있습니다.

다양한 유형의 장비와 관련하여 수많은 EMC 표준이 있습니다. 예를 들어, IEC(International Electrotechnical Commission) 61000 표준은 대부분의 상업용 제품에 대한 내성 요구 사항을 다루고 있으며, Comite International Sperial des perturbations Radioelectriques(CISPR) 32 표준은 전도 및 방사 방출에 대한 제한을 지정합니다[5]. 표 1에는 관련 제품 부문에 대한 CISPR, 유럽 표준 및 FCC 표준이 나열되어 있습니다. 미국 및 EU 이외의 다른 많은 국가에서는 FCC 또는 EU EMC 요구 사항을 준수하거나 고유한 요구 사항을 충족합니다. 미국 및 유럽 이외의 국가의 규정은 FCC 또는 EU 요구 사항과 유사한 경우가 많습니다[6].

제품 부문	CISPR 표준	EN 표준	FCC 표준
차량용	CISPR 25	EN 55025	-
멀티미디어	CISPR 32	EN 55032	15부
산업, 과학, 의료	CISPR 11	EN 55011	18부
가전 제품, 전동 공구 등	CISPR 14-1	EN 55014-1	-
조명 장비	CISPR 15	EN 55015	15 및 18부

표 1. 방사 및 전도 방출에 대한 주요 제품 표준 요약 [5].

스마트 계량 등의 특정 유형의 장비를 고려할 때 저 EMI에 대한 필요성이 훨씬 더 분명해졌습니다. 스마트 전기 계량기는 에너지 분배의 미래에서 중요한 부분입니다. 이러한 데이터들은 유틸리티와 최종 사용자 모두에게 실시간 데이터를 제공하여 사람들이 에너지 사용량을 모니터링하고 계량기 판독 방문이 필요하지 않습니다. 대부분의 스마트 미터는 무선 M-Bus 또는 ZigBee와 같은 무선 통신 [7]을 통해 연결하거나 휴대폰 네트워크(GSM, LTE cat NB1-NB2, 2G/3G/5G)에 연결합니다. 그림 1에 나와 있듯이 스마트 전기 계량기에는 일반적으로 에너지 계량(계측) 회로 보드와 동일한 하우징에 내장된 RF(무선 주파수) 트랜스미터 회로가 포함되어 있습니다. 800MHz, 900MHz, 1,800MHz, 2,100MHz 또는 2,700MHz와 같은 주파수에서 작동할 수 있는 RF 통신을 방해하지 않도록 계측 회로의 방사 방출을 최소화하는 것이 중요합니다. 또한 계측 회로는 RF 잡음을 민감한 에너지 측정 프론트 엔드로 주입하여 청구 오류를 방지하기 위해 전자파 내성(무선 통신에서 전자기 에너지를 견딜 수 있는 능력) 측면에서 저항력이 있어야 합니다.

이 문서에서는 EMI의 소스, 특히 방사 방출을 설명하고, 자세한 레이아웃 예제 및 측정 결과를 포함하여 아날로그 신호 체인의 EMI를 최소화하는 몇 가지 기술을 제공합니다.

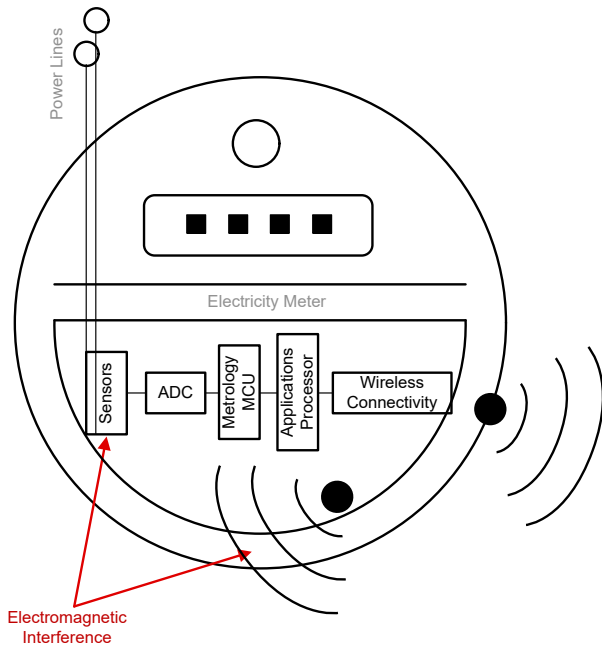


그림 1. RF 지원 스마트 전기 계량기.

EMI 및 방사 방출 소스

EMC는 전기 시스템이 EMI가 있는 환경에서 제대로 작동하고 관련 표준[1]에 명시된 제한을 초과하는 전자기 환경에 대한 간섭원이 되지 않을 수 있는 능력을 말합니다.

EMI는 방사 또는 전도될 수 있습니다. 방사 간섭은 무선 전파의 형태로 이동하며 RF 간섭이라고도 합니다. 전도 간섭은 신호와 전력을 전달하는 케이블의 전류 흐름에 의해 생성되는 자기장에서 발생합니다.

이 문서의 초점은 방사 방출을 최소화하는 데 있습니다. PCB(인쇄 회로 기판) 또는 해당 PCB에 장착된 집적 회로(IC) 내부의 경우 방사되는 방출의 주요 소스는 다음과 같습니다.

- 디지털 신호 전환 중 전압 레벨이 급변하는 클럭킹 신호와 같은 스위칭 신호. 이는 신호의 고주파 구성 요소 때

문에 발생합니다. 스위칭 및 클럭킹 신호는 IC 내/간에 다양한 구성 요소의 작동을 동기화하기 위해 반드시 필요합니다.

- 전원 공급 라인을 통해 소비 전류의 급격한 변화를 일으키는 스위칭 레귤레이터 및 기타 구성 요소.
- 입력/출력 버퍼, 특히 고속 신호 전환을 처리하기 때문에 USB, HDMI 또는 이더넷과 같은 고속 인터페이스와 관련된 버퍼.
- IC 내부 회로에서 기본 신호보다 높은 주파수의 비선형 동작으로 생성된 고조파.
- IC의 상호 연결 및 구조에서의 기생 커패시턴스, 인덕턴스 및 저항.
- ESD 보호 회로를 트리거하는 ESD(정전기 방전) 이벤트.

그림 2에서는 TI의 **AMC131M03** 갈바닉 절연 ADC(아날로그-디지털 컨버터) [8]와 내부 아키텍처 및 PCB의 연결로 인해 발생하는 주요 방사 방출 소스를 보여줍니다. ADC는 3상 에너지 계량 애플리케이션에서 사용되며 그림 2에서는 1상(위상 A)용 회로를 보여줍니다. 신호 체인은 에너지 모니터링을 위한 전압 및 전류 측정을 추출하도록 설계되었습니다[8]. ADC 채널 0은 셉트 레지스터를 사용하여 위상 전류를 측정하고, 채널 1은 저항식 분할기를 통해 위상 전압을 측정합니다[8]. 방출에 가장 연관성이 높은 요인은 고전압 측[8]에서 절연 전원 공급 장치를 생성하는 내부 스위칭 DC/DC 컨버터(그림 1의 a)입니다. 두 번째 가장 높은 방사 방출 소스는 적층형 커패시터 장벽 [8], [9]을 통해 고주파 온/오프 키잉 전송을 사용하여 구현되므로 디지털 절연(그림 2의 b)입니다. 또한 클럭 신호는 ADC 모듈레이터 클럭 CLKIN(그림 2의 c)과 ADC와 마이크로컨트롤러(그림 2의 d) 사이의 디지털 통신 인터페이스와 같은 넓은 주파수 범위에서 방사선을 방출합니다.

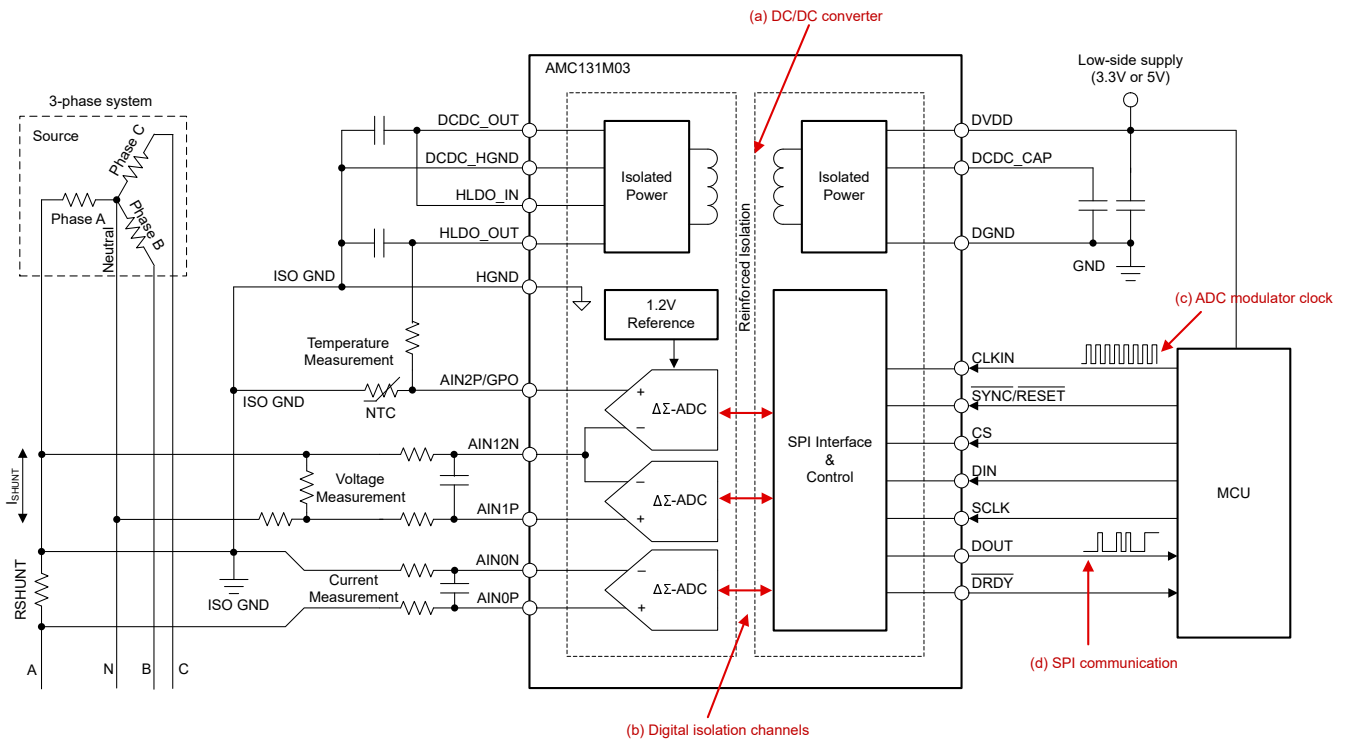


그림2. 절연 ADC 및 방사 방출 소스를 지원하는 아날로그 신호 체인.

EMI를 최소화하는 기술

몇 가지 일반적인 PCB 설계 기술로 EMI를 최소화하고 자세한 내용은 레퍼런스 [1], [10], [11]:

- 적절한 접지를 참조하십시오. 이것은 방사 방출을 줄이는 가장 효과적인 방법 중 하나입니다. 접지를 주의 깊게 하면 안테나 역할을 하는 접지 루프를 피할 수 있습니다. 또한 접지면을 사용하면 루프 영역을 줄이고 신호의 복귀 경로를 제공하여 EMI 발생 가능성을 줄일 수 있습니다. 그러나 다른 경우 접지면이 민감한 노드에 안테나를 만들어 방사 방출을 높일 수 있습니다(그림 5에 표시된 특정 예 참조).
- 부품 배치. 특히 고속 신호의 경우 신호 트레이스 길이를 최소화하는 방식으로 부품을 배치합니다. 디지털 부품과 아날로그 부품은 간섭을 피하기 위해 따로 보관합니다.
- 직선의 짧은 트레이스 라우팅. 고속 트레이스를 직선으로 라우팅하고 가능한 한 짧게 유지하면 EMI의 발생 가능성을 최소화할 수 있습니다. 또한 트레이스 경로에 반사 및 신호 손실을 유발할 수 있는 직각이 생기지 않도록 주의하십시오.

- 디커플링 커패시터 사용. 디커플링 커패시터는 고주파 잡음 접지에 대한 짧은 복귀 경로를 제공할 수 있습니다. 디커플링 커패시터를 IC의 전원 핀에 최대한 가깝게 배치합니다.
- 제어된 임피던스. 신호 트레이스의 임피던스를 제어하면 소스와 부하의 임피던스와 일치하며 방사 방출을 초래할 수 있는 신호 반사를 방지하는 데 도움이 될 수 있습니다.
- 실딩. 경우에 따라 PCB의 특정 영역에 금속 실드 또는 차폐재를 사용하면 방사 방출을 방지할 수 있습니다.
- 필터 사용. 필터는 방사 방출을 유발하는 특정 주파수를 차단할 수 있으며, 특히 전원 공급 장치 회로에서 유용합니다.
- 레이어 적층. 다계층 PCB에서 EMI를 최소화하는 방식으로 레이어를 배열하는 데 주의를 기울이십시오. 일반적으로 전원과 접지 레이어를 대체하는 것이 좋습니다. 이렇게 하면 루프 영역을 줄이고 신호의 복귀 경로를 제공할 수 있습니다. 위아래 접지레이어는 방사 방출을 생성하는 클록과 같은 내부 신호 레이어의 실드 필드 역할을 하는 데 도움이 될 수 있습니다.

- 클럭 고조파 방지. 클럭 신호는 회로의 다른 부품과 간섭을 일으킬 수 있는 고조파를 생성할 수 있습니다. 확산 스펙트럼 기법은 이러한 고조파를 분산시키고 그 영향을 줄이는 데 도움이 됩니다.
- EMI 시뮬레이션 . 방사 방출 시뮬레이션 툴은 PCB 설계 단계 자체[12], [13]의 EMI를 예측하고 최소화하는 데 도움이 됩니다.

그림 3은 그림 2에 도입된 아날로그 신호 체인의 자세한 회로도입니다.

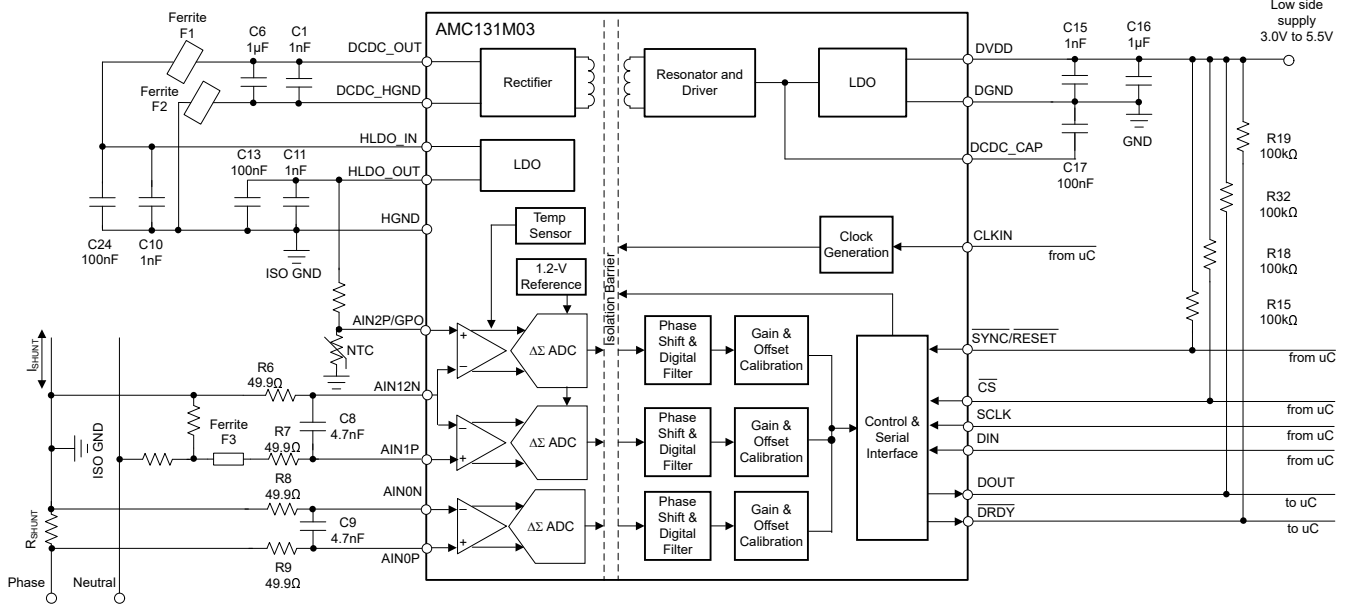


그림 3. 그림 2의 아날로그 신호 체인의 자세한 회로도.

그림 4 및 그림 5는 AMC131M03에 대한 해당 PCB 레이아웃에 방사 방출 감소 기법을 적용하는 방법을 보여줍니다. 그림 4은 "좋은" 레이아웃을 보여줍니다. 고전압 도메인 (AMC131M03 배치 왼쪽의 PCB 영역)에서 ADC 입력 및 전원 경로에 대한 트레이스를 짧게 유지하고 바이패스 커패시터 C1, C6, C8, C9, C11, C13, C14 및 C24를 IC에 가깝게 배치해야 합니다.

EMI를 완화할 때 중요한 측면은 절연 접지 노드 ISO_GND의 접지 체계입니다. 트레이스 길이를 최소화하고 고전압

도메인에 접지면을 배치하지 않으면 이 노드의 안테나를 최소화하여 방사 방출[14]을 최소화합니다. 페라이트 비드 F1 및 F2는 전원 연결에 DCDC_OUT 및 DCDC_HGND에 삽입되어 고주파 잡음을 차단합니다. 또한 전압 측정을 위한 저항 분할기와 직렬로 과도한 방사 방출(PCB 설계에 따라 다름)의 주파수에서 고임피던스를 지원하는 추가 페라이트 비드(F3)를 배치할 수 있습니다.

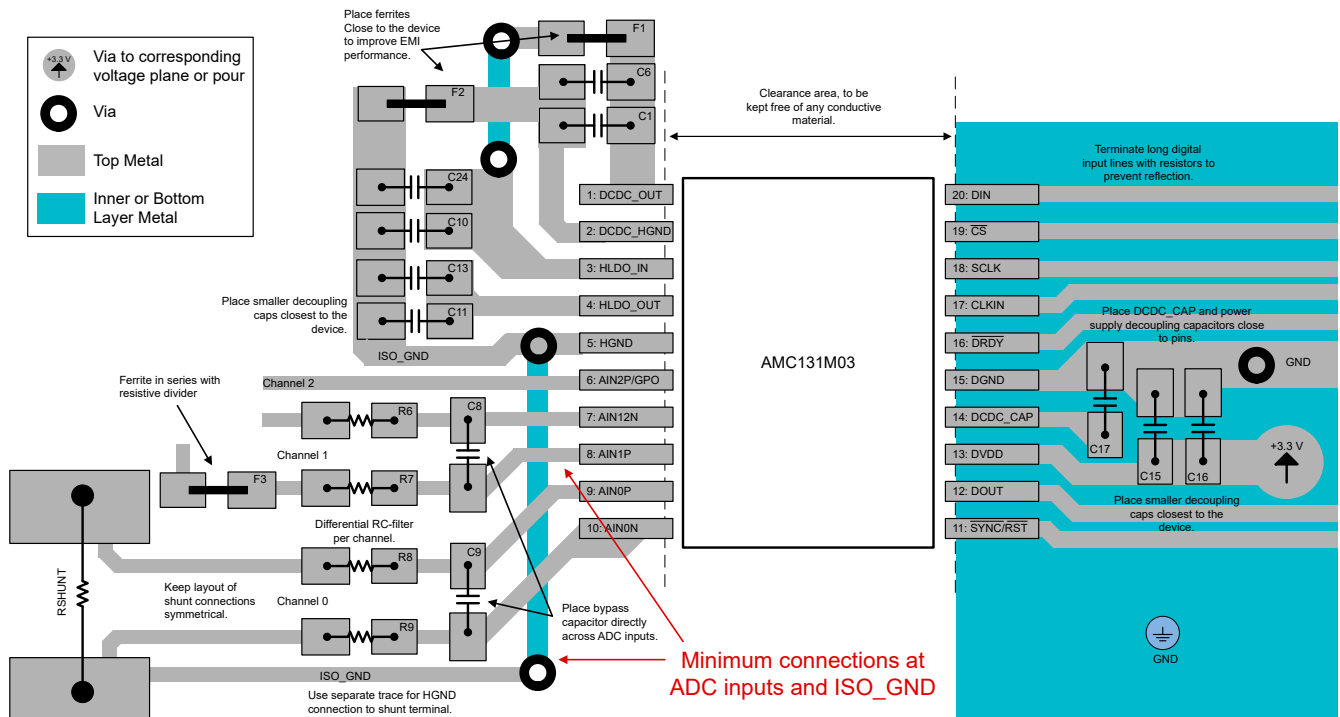


그림 4. 양호한 PCB 레이아웃(낮은 EMI).

그림 5 은 "잘못된" 레이아웃을 보여줍니다. 이는 안테나 역할을 하며 방사 방출을 크게 증가시킬 수 있는 ISO_GND 노드에 연결된 접지면을 보여줍니다[14].

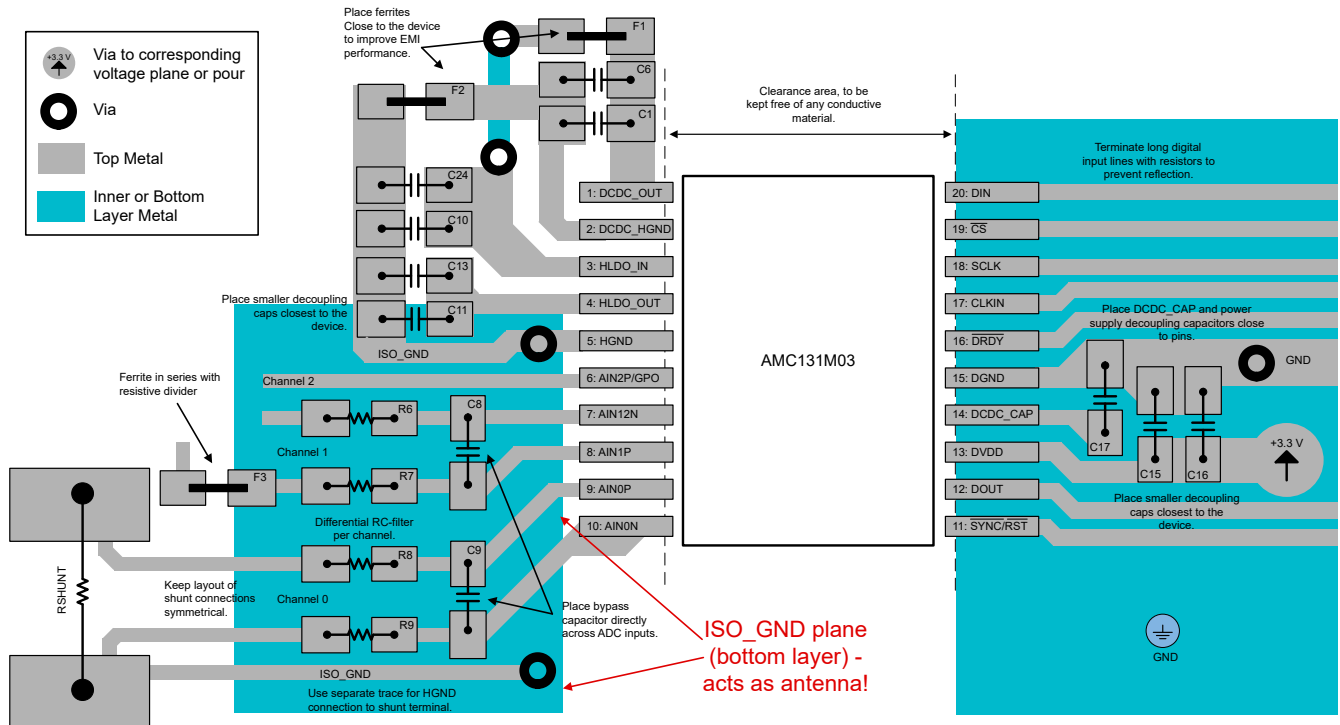


그림 5. 잘못된 PCB 레이아웃(높은 EMI).

그림 6 및 그림 7은 그림 4에 나와 있는 레이아웃 구현을 사용하여 AMC131M03 PCB의 방사 방출 측정을 나타냅니다. 이 측정은 3m 거리의 수평 및 수직 편파용으로 구성된 광대역 안테나를 사용하는 반무향실에서 CISPR 11 요구 사항을 따릅니다. ADC는 CLKIN 핀에서 연속 클럭을 받고 변환 결과를 생성하고 있습니다. 그러나 방출 프로파일이 특성화된 동안에는 직렬 주변 인터페이스 통신이 없습니다. 이 설계는 13dB 마진의 CISPR 11 클래스 A 및 클래스 B 표준을 충족하는, 데이터 및 전력 모두에 대한 강화 절연 기능을 갖춘 ADC의 시장에서 최저 복사성 방출 성능을 제공합니다.

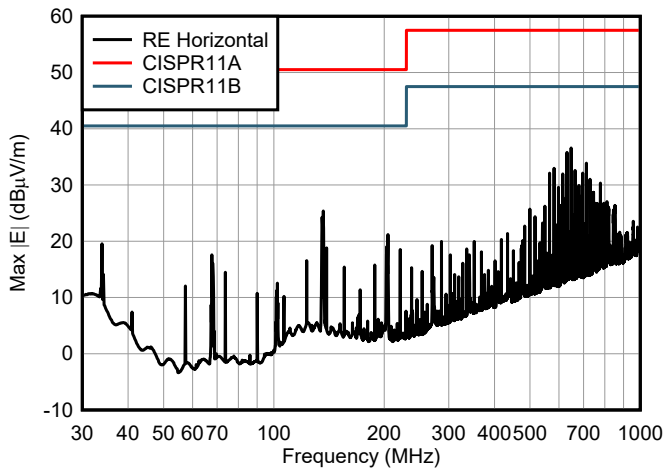


그림 6. 수평 방사 방출 CISPR 11 측정

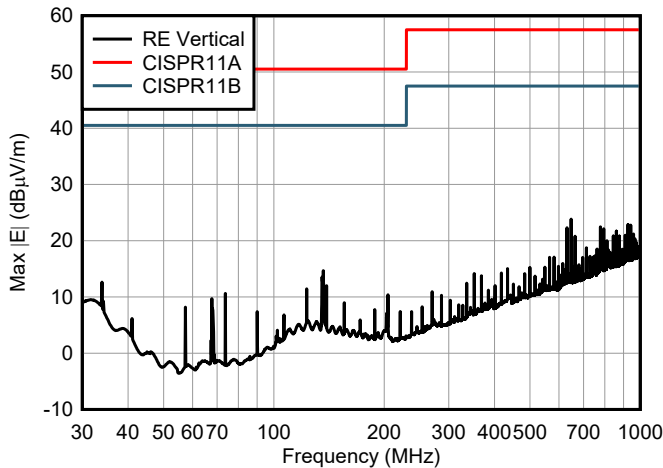


그림 7. 수직 방사 방출 CISPR 11 측정

마무리

전자 회로가 설계된 대로 작동하도록 하려면 EMI로부터 보호해야 합니다. 동시에 회로 자체는 다른 장비의 성능을

위협하거나 저하시킬 수 있는 배출을 방출해서는 안 됩니다. EMC 표준을 준수하려면 부품 수준, 보드 수준, 시스템 수준 및 전체 시스템 수준[15]의 네 가지 수준에서 EMI 보호가 필요합니다.

여기에 제시된 기술은 PCB(보드) 설계 수준에서 EMI를 최소화하며, 전기 계량에 사용되는 강화 절연[16]을 갖춘 동급 최고의 정밀 ADC 신호 체인인 실제 사례에 손쉽게 적용할 수 있습니다. 제안된 EMI 감소 기법을 사용하여 신중하게 설계함으로써 이 설계는 관련 EMC 표준에 대해 충분한 마진[17]을 달성합니다.

참고 자료

- Ott, Henry W. 2009. "전자기 호환성 엔지니어링." 뉴저지 주 호보켄: John Wiley 및 Sons.
- 15부 - 무선 주파수 장치. FCC 제목 47, I 장, 하위 장 A FCC: Washington, D.C., 2024년 1월 11일.
- 9kHz ~ 40GHz 범위의 저전압 전기 및 전자 장비의 무선 소음 방출 측정 방법에 대한 미국 국가 표준. IEEE C63.4-2009. 뉴저지 주 피스카타웨이, 2009년 9월 15일.
- 전자기 호환성에 관한 회원국 법률의 근사치 및 지침 89/336/EEC 폐지에 관한 유럽 의회 및 2004년 12월 15일 이사회의 지침 2004/108/EC. 유럽 연합의 공식 저널. 벨기에 브뤼셀, 2004년 12월 31일.
- 텍사스 인스트루먼트: 전원 공급 장치의 전도 EMI 사양에 대한 개요
- LearnEMC.com. n.d. EMC 규정. 2024년 1월 14일에 액세스함.
- Envocore.com. n.d. 스마트 계량기는 어떻게 통신합니까? 2024년 1월 14일에 액세스함.
- Texas Instruments. n.d. AMC131M03 3채널, 동시 샘플링, 24비트 절연 델타-시그마 ADC. 2024년 1월 14일에 액세스함.
- 텍사스 인스트루먼트: 높은 신뢰도와 합리적인 가격대의 절연 기술 개발과 관련한 고전압 설계 문제의 해결.
- Altium.com. n.d. EMI를 줄이기 위한 PCB 설계 기술. 2024년 1월 14일에 액세스함.
- 아날로그 장치(Maxim 내장형) EMI 보호의 실용적인 측면. 자습서 1167, 2002년 8월 21일.

12. Remcom. n.d. **전자기 시뮬레이션 소프트웨어**. 2024년 1월 14일에 액세스함.
13. Cadence. n.d. **Clarity 3D Transient Solver**. 2024년 1월 14일에 액세스함.
14. 텍사스 인스트루먼트: **AMC3301 제품군 방사 방출 EMI를 감소하는 모범 사례**.
15. Electronic Design. n.d. **전자 시스템의 EMI 표준 충족**. 2024년 1월 14일에 액세스함.
16. 텍사스 인스트루먼트: **고전압 강화 절연: 정의 및 테스트 방법**.
17. 텍사스 인스트루먼트: **디지털 아이솔레이터의 전자기 적합성 테스트 이해**.

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 © 2024, Texas Instruments Incorporated