

절연 전류 감지에 대한 설계 고려 사항

Alex Smith

Applications Engineer

Precision Analog-to-Digital Converters

온보드 충전기, 스트링 인버터, 모터 드라이브와 같은 산업용 및 차량용 애플리케이션에는 기능 수행을 위한 고전압 회로로부터 디지털 회로를 보호하면서 전류 제어 루프를 위한 피드백 알고리즘을 구동하기 위해 일부 유형의 절연 전류 측정이 필요합니다.

절연 증폭기는 고성능을 고려하면 절연 장벽을 통해 전류 측정 데이터를 전송하는 탁월한 장치입니다. 그러나 올바른 절연 증폭기를 선택하는 것이 항상 간단한 것은 아닙니다. 절연 사양, 고압측에 전원을 공급하는 방법, 입력 전압 범위 선택 등 절연 증폭기를 선택할 때 고려해야 할 사항이 많습니다. 이 문서에서는 특정 시스템에 가장 적합한 절연 증폭기를 선택하는 데 도움이 되는 이러한 각 결정을 자세히 설명합니다.

절연 전류 측정을 위한 장치를 선택할 때 첫 번째 결정은 필요한 절연 수준을 결정하는 것입니다. 절연은 기본 및 리인 강제 절연의 두 가지 수준이 있습니다. 모터 드라이브용 IEC(국제 전기 기술 위원회) 61800, 의료 장비에 대한 IEC 60601과 같은 시스템 아키텍처 및 완제품 표준은 필요한 절연 수준을 지정합니다.

절연 장벽의 성능을 정량화하는 주요 사양은 다음과 같습니다.

- 절연 작동 전압은 절연 증폭기가 작동 수명 기간 동안 지속적으로 처리할 수 있는 루트 평균 제곱 전압에 정의된 최대 전압입니다.
- 이 문서에서는 특정 시스템에 가장 적합한 절연 증폭기를 선택하는 데 도움이 되도록 이러한 각 결정 사항을 자세히 다룹니다.
- 절연 과도 과전압은 절연 증폭기가 60초 동안 견딜 수 있는 피크 대 피크 전압에 정의된 전압입니다
- IEC 60065에 따른 서지 정격(임펄스 전압 정격)은 절연 증폭기가 고장 없이 견딜 수 있는 1.2-/50 μ s 전압 크기입니다.

일부 최종 장비 제조업체에서는 절연 사양을 충족하는지 확인하기 위해 타사에서 인증을 받은 제품을 보유하고 있습니다. 절연 증폭기는 완제품 내부 부품이며 완제품 표준은 간접적으로 적용되기 때문에 이러한 사양 자체로 측정되지 않습니다. 대신, 부품은 DIN(Deutsches Institut für Normung e.V.) VDE(Verband Deutscher Elektrotechniker) V 0884-11 및 UL(Underwriters Laboratories) 1577 등의 장치 수준 인증에 대해 측정됩니다. IEC 표준에 명시된 바와 같이, 동일한 요구 사항이 있는 부품 수준 표준을 준수하는 장치는 별도의 평가가 필요하지 않습니다. 이것은 CISPR(Comité International Spécial des Perturbations Radio) 방사 방출 전자기 간섭(EMI) 표준에도 적용됩니다. 텍사스 인스트루먼트(TI)의 절연 증폭기의 방사 방출 성능에 대해서는 [1]을(를) 참조하십시오.

최상의 성능을 위해 장치별 데이터 시트에 표시된 레이아웃 및 애플리케이션 관행이 권장됩니다. [2]에는 TI 절연 증폭기 장치 수준 인증이 나와 있습니다.

절연 증폭기를 선택할 때의 다음 결정은 절연 장벽의 고압측에 전원을 공급하는 방법입니다.

회로의 이 부분을 설계할 때는 고압측 공급 전압이 측정 중인 전류의 공통 모드 입력 전압에 따라 변동해야 한다는 점을 기억하십시오. 즉, 다중 위상 전류 측정의 경우 각 위상에 자체 고압측 전원 공급 장치가 있는 절연 증폭기가 1개 필요합니다. 고압측 전력 공급 회로를 잘못 설계하면 최대 아날로그 입력 전압 정격 절대값을 초과하여 장치가 영구적으로 손상될 수 있습니다.

절연 증폭기의 고압측에 전원을 공급하는 세 가지 주요 설계 옵션이 있습니다.

첫 번째 설계 옵션은 저압측에서 절연 증폭기의 고압측에 전압을 공급할 수 있는 개별 절연 변압기 회로를 설계하는 것입니다. 이 방법은 절연된 변압기, TI의 SN6501과 같은 변압기, 그리고 TI의 TLV704와 같은 저손실 레귤레이터를 선택해야 합니다. 이 접근 방식은 설계하기 쉽지만 넓은 보드 면적과 여러 부품이 필요합니다. **그림 1**에서는 AMC1300 평가 모듈(EVM)의 상단 부분에 대한 구현 예를 보여줍니다.

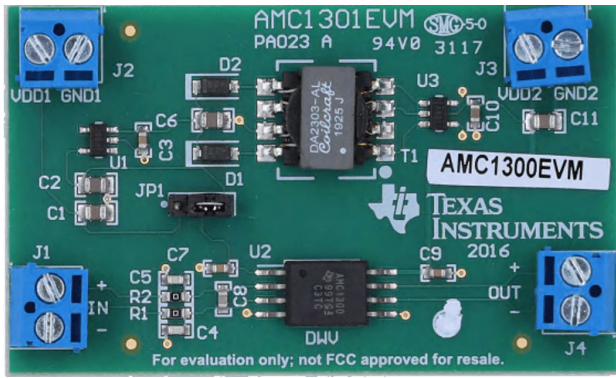


그림1. 절연 변압기를 사용한 AMC1300 EVM.

그림 2에 나와 있는 두 번째 설계 옵션은 부동 고압측 게이트 드라이버 공급 장치(일반적으로 15V)와 제너 다이오드와 같은 션트 레귤레이터를 사용하여 5V까지 전압을 조절합니다. 이 설계의 예는 AMC1300B-Q1 강화 절연 증폭기와 같은 장치 데이터 시트에 나와 있습니다. 이 설계 옵션은 경제적이고 효과적이지만 게이트 드라이버 공급 접지 레퍼런스와 증폭기 접지 레퍼런스 간의 레이아웃 제한 및 기생 임피던스는 공통 모드 입력 전압 위반 및 과도 오류로 이어질 수 있습니다.

그림 3에서 볼 수 있는 세 번째와 가장 간단한 설계 옵션은 통합된 DC/DC 컨버터가 있는 장치를 사용합니다. TI의 AMC3302 같은 통합 DC/DC 컨버터를 갖춘 절연 증폭기는 솔루션 크기와 복잡도를 크게 줄이고, 시스템 비용을 낮추고, 탁월한 변환 효율성을 제공하며, 션트 레지스터의 유연한 배치를 가능하게 합니다.[4]

절연 증폭기를 선택할 때의 마지막 결정은 장치의 입력 전압 범위를 선택하는 것입니다. 전류 감지에 최적화된 대부분의 절연 증폭기는 ±50mV 또는 ±250mV 선형 입력 전압 범위 옵션이 있습니다. 애플리케이션에 적합한 입력 전압 범위를 결정하는 것은 측정되는 전류의 크기와 션트 저항의 크기에 따라 달라집니다. 일반적으로 고전류 크기를 가진 시스템은 일반적으로 ±50mV와 같이 더 작은 입력 범위를 가진 절연 증폭기를 필요로 합니다. 상대적으로 낮은 전류 크기의 시스템은 ±250mV의 약간 큰 입력 전압 범위의 이점을 얻을 수 있으며, 이를 통해 높은 신호 대 잡음비가 가능합니다.

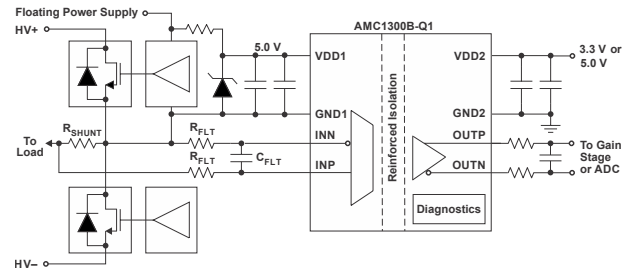


그림2. AMC1300B-Q1 및 부동 전원 공급 장치.

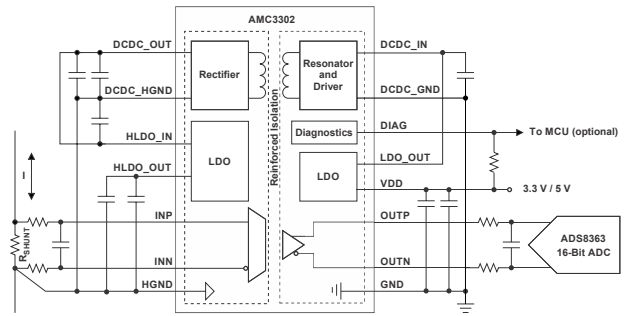


그림3. 내부 DC/DC 컨버터를 지원하는 AMC3302 절연 증폭기.

입력 전압 범위를 선택할 때 고려해야 할 두 가지 방정식이 있습니다. 옴의 법칙(방정식 1 참조) 및 저항에서 소비되는 전력(방정식 2 참조):

$$V = I \times R \tag{1}$$

$$P = I^2 \times R \tag{2}$$

이러한 두 방정식은 절연 증폭기의 최대 눈금 입력 범위와 션트 저항에서 손실되는 전력량 사이의 절충을 제어합니다. 전류 및 저항 값이 제공될 경우 방정식 1에서는 션트 저항 전체의 전압 강하를 계산합니다. 두 값이 일치하지 않을 경우 직접적인 해상도 손실이 발생하므로 이 전압 범위를 절연 증폭기의 최대 눈금 입력 전압 범위와 최대한 가깝게 일치시킵니다.

방정식 2은(는) 션트 저항에서 손실되는 전력을 정량화합니다. 션트 저항은 저항을 통해 손실되는 전력이 정격 전력 손실의 절반에 도달하면 자체 발열로 인해 온도 드리프트 사양에 따라 드리프트가 시작되어 게인 오류가 발생하므로 이 점이 중요합니다. 자체 발열로 인한 과도한 션트 드리프트를 방지하려면 션트 저항의 공칭 전력 손실이 정격 전력 손실의 1/8 이하가 되도록 제한하는 것이 가장 좋습니다.

예를 들어, 전류 요건이 18A의 정격 전류와 최대 전류는 52A인 경우 선형 입력 전압 범위(±50mV 및 ±250mV)와 최대 전류에 대한 두 가지 옵션이 있음을 알면 이상적인 셉트 저항 값을 계산하여 두 가지 옵션에 대한 풀 스케일 입력 범위를 충족할 수 있습니다.

$$\begin{aligned} \pm 50 \text{ mV: } R_{\text{ideal}} &= 0.96 \text{ m}\Omega & (3) \\ \pm 250 \text{ mV: } R_{\text{ideal}} &= 4.8 \text{ m}\Omega \end{aligned}$$

가장 가까운 표준 셉트 레지스터 값 찾기:

$$\begin{aligned} \text{For } \pm 50 \text{ mV: } R &= 1 \text{ m}\Omega, \text{ or} & (4) \\ \text{for } \pm 250 \text{ mV: } R &= 5 \text{ m}\Omega \end{aligned}$$

이러한 값을 **방정식 1**에 연결하면 셉트 저항 전반에서 결과적인 전체 전압 강하를 계산할 수 있습니다.

$$\begin{aligned} \text{For } \pm 50 \text{ mV: } V &= I \times R = (52 \text{ A}) \times (1 \text{ m}\Omega) = 52 \text{ mV, or} & (5) \\ \text{for } \pm 250 \text{ mV: } V &= I \times R = (52 \text{ A}) \times (5 \text{ m}\Omega) = 260 \text{ mV} \end{aligned}$$

이상적인 계산에서 가장 가까운 표준 값까지의 저항 값이 약간 증가하므로 최대 눈금 입력 전압 범위가 절연 증폭기의 선형 최대 눈금 입력 범위보다 큰 것을 알 수 있습니다. 즉, 최대 눈금 전류 크기의 경우 결과 전압 크기가 더 이상 절연 증폭기 입력의 선형 영역 내에 있지 않습니다. 절연 증폭기는 종종 클립하기 전에 선형 입력 전압 범위를 초과하는 추가 입력 전압 범위를 가집니다. 일반적으로 이 영역 내에서(일반적으로 ±250mV 장치의 경우 ±280mV, ±50mV 장치의 경우 ±56mV)는 절연 증폭기의 정확도가 데이터 시트에 지정되지 않지만, 절연 증폭기는 선형 영역과 비슷한 수준의 정확도를 가진 전압을 계속 출력합니다. 이는 최대 전류 크기에 대한 정확도 요구 사항이 공칭 측정값과 비교할 때 일부 애플리케이션에서는 사용 가능할 수 있습니다.

다음으로, 셉트 레지스터의 전력 손실 정격이 3W라고 가정했을 때 표준 저항 값과 정격 전류 크기를 사용하여 셉트 저항에서 소모되는 전력을 계산합니다

$$\begin{aligned} \text{For } \pm 50 \text{ mV: } P &= I_{\text{max}}^2 \times R = (18 \text{ A})^2 \times (1 \text{ m}\Omega) = 0.32 \text{ W,} & (6) \\ \text{For } \pm 250 \text{ mV: } P &= I_{\text{nom}}^2 \times R = (18 \text{ A})^2 \times (5 \text{ m}\Omega) = 1.62 \text{ W} \end{aligned}$$

±50mV 계산의 경우 공칭 전력 손실은 정격 전력 소비의 8분의 1 미만입니다. 이 셉트 저항은 공칭 전류를 측정할 때 자체 발열로부터 크게 드리프트해서는 안 됩니다.

±250mV 계산을 하면 전력 손실이 정격 전력 손실의 절반

을 초과합니다. 즉, 정격 전류 범위를 측정할 때 상당한 온도 드리프트가 발생할 수 있습니다.

대형 인쇄 회로 보드 평판을 형성하거나 히트 싱크나 팬을 사용하는 등 셉트 저항에서 발생하는 열을 줄이기 위해 추가 조치를 취할 수 있습니다. 초고전류 애플리케이션의 경우 연산 증폭기를 사용하여 입력 신호를 얻어 절연 증폭기의 최대 눈금 입력 범위에 맞추면 입력 범위를 극대화할 수 있습니다. 이는 [5]에서 사용되는 방법입니다.

높은 정격 전류 크기를 측정하는 대부분의 애플리케이션의 경우 더 작은 ±50mV 입력 전압 범위로 TI의 AMC1302 또는 AMC3302와 같은 절연 증폭기를 선택하는 것이 좋습니다.

마지막 단계는 최대 전류 크기에서의 전력 손실이 셉트 레지스터의 정격 전력 손실을 초과하지 않는지 확인하는 것입니다. 정격 전력 손실을 초과하면 셉트 저항이 영구적으로 손상될 수 있습니다.

$$\begin{aligned} \text{For } \pm 50 \text{ mV: } P &= I_{\text{max}}^2 \times R = (52 \text{ A})^2 \times (1 \text{ m}\Omega) & (7) \\ &= 2.70 \text{ W} \end{aligned}$$

예와 유사한 측정 결과를 보려면 [6]을(를) 참조하십시오.

결론

온보드 충전기, 스트링 인버터, 모터 드라이브와 같은 완제품에서 절연 전류 감지 회로를 설계하는 경우 절연 증폭기를 선택할 때 고려해야 할 많은 결정이 있습니다. 고려해야 할 주요 요소는 절연 사양, 고압측 전원 및 입력 전압 범위입니다. 시스템 요구 사항에 맞는 올바른 절연 증폭기를 사용하면 완제품 인증을 통과하거나 절대 최대 아날로그 입력 전압 등급을 초과하거나 셉트 레지스터의 과도한 자체 발열을 유발하지 않고도 설계를 달성할 수 있습니다.

참고 자료

1. Alex Smith, **"AMC1300B-Q1 절연 증폭기를 사용한 등급 최고의 방사 방출 EMI 성능"** 애플리케이션 보고서, 2020년 6월.
2. **텍사스 인스트루먼트의 제품에 대한 "절연 증폭기 - 인증"**
3. **AMC1300 평가 모듈(EVM), 텍사스 인스트루먼트**

4. Ravi Kiran Raghavendra, "**단일 전원 절연 증폭기 및 ADC로 절연 전류 및 전압 감지 설계 간소화**" TI E2E™ 지원 포럼 기술 문서, 2020년 10월 26일.
5. "**절연 증폭기를 사용하는 셉트 기반, 200A 피크 전류 측정 레퍼런스 설계,**" 텍사스 인스트루먼트 (TIDA-00445), 2016년 3월.
6. Smith, Alex. **절연 셉트 및 폐쇄형 루프 전류 감지의 정확도 비교** 애플리케이션 요약, 2020년 9월.

관련 웹사이트

레퍼런스 설계:

- **온보드(OBC) 및 무선 충전기 통합 회로 및 레퍼런스 설계**
- **태양광 스트링 인버터 통합 회로 및 레퍼런스 설계**
- **모터 드라이브 시스템 블록 다이어그램, 레퍼런스 설계 및 제품**

제품 정보:

- **텍사스 인스트루먼트의 아이솔레이터 솔루션**
- **AMC1300B-Q1**
- **AMC1302-Q1**
- **AMC3302**
- **SN6501-Q1**
- **TLV704**

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