

Analog Engineer's Circuit

±250mV 입력 및 차동 출력을 사용하는 절연 전압 측정 회로



Daniel Miller, Alex Smith

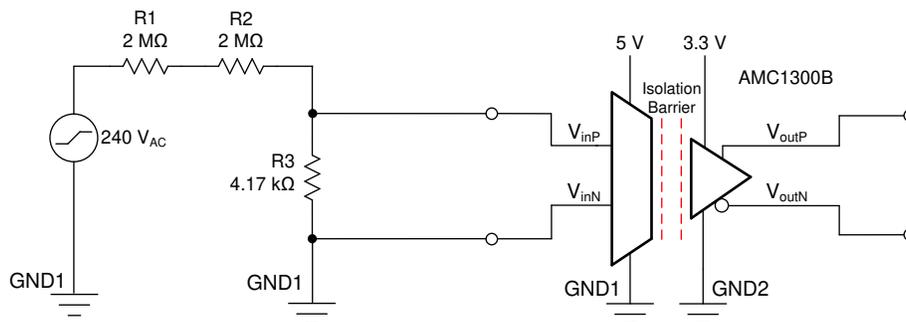
설계 목표

전압 소스		AMC1300B 입력 전압		AMC1300B 출력 전압 (1.44V _{CM})		전원 공급 장치	
V _{MAX}	V _{MIN}	V _{IN DIFF, MAX}	V _{IN DIFF, MIN}	V _{OUT DIFF, MAX}	V _{OUT DIFF, MIN}	VDD1	VDD2
+240V	-240V	+250mV	-250mV	+2.05V	-2.05V	3.0V~5.5V	3.0V~5.5V

설계 설명 I

이 회로는 전압 분할기와 ±250mV 차동 입력, 차동 출력, AMC1300B 절연 증폭기를 사용하여 고전압, 차동 측정을 수행합니다. 저입력 임피던스 장치이기 때문에 AMC1300B는 전류 감지 애플리케이션에 더 적합합니다. 절연 증폭기와 입력 전압 분할기의 입력 임피던스가 상호 작용하면 게인 오류가 발생합니다. 또한 저임피던스 입력 및 전압 감지 저항을 통과하는 바이어스 전류가 상당한 오프셋 오류를 일으킵니다. 이러한 오류를 보상하지 않고 먼저 설계를 하였습니다. 그런 다음 그 효과를 관찰하고 수학적으로 설명할 것입니다. 마지막으로, 효과를 제한하고 개선된 결과를 관찰하기 위해 재설계할 것입니다.

전압 분할기 회로는 절연 증폭기의 입력 범위에 일치하도록 입력 전압을 ±240V~±250mV로 줄입니다. AMC1300B에는 고압측 및 저압측 전원 공급 장치가 모두 필요합니다. 고압측 공급은 부동 공급을 사용하거나 절연 변압기 또는 절연 DC/DC 컨버터를 사용하여 저압측에서 생성하는 경우가 많습니다. AMC1300B는 8.2V/V의 고정 게인으로 ±250mV 차동 신호를 측정하고 출력 공통 모드 전압이 1.44V인 ±2.05V의 절연 차동 출력 전압을 출력할 수 있습니다. 차동 출력 전압은 추가 연산 증폭기를 사용하여 필요에 따라 조정할 수 있으며, 차동 출력(절연) 증폭기를 단일 종단 ADC로 인터페이스 기술 노트에서 볼 수 있는 것처럼 TLV6001 장치를 사용하여 ADC와 인터페이스할 수 있습니다.



설계 노트 I

1. 절연 증폭기가 원하는 입력 신호 범위에서 선형 작동 영역으로 유지되는지 확인하십시오. 이는 **DC 전송 특성 I** 섹션에 나와 있는 DC 스위프 시뮬레이션을 사용하여 달성할 수 있습니다.
2. 저항 분할기 회로(R1 - R3)에 사용되는 저항이 전압 소스에서 공급되는 전원을 소산할 수 있는지 확인하십시오.
3. 장치에 가해지는 입력 전압이 데이터 시트에서 지정한 범위 이내로 유지되는지 확인하십시오. 입력 범위를 위반할 경우 부품 손상을 방지하기 위해 입력 전류가 10mA 미만으로 유지되도록 하십시오. 시스템이 과도 이벤트에 취약할 경우 입력에 TVS 다이오드를 추가하는 것을 고려해 보십시오.

설계 단계 I

1. 입력 전압 소스(V_{source})에 대한 **AMC1300B**($V_{IN_AMC_FSR}$)의 전체 스케일 입력 전압 비율을 기반으로 필요한 전압 분할기 감쇠를 계산합니다.

$$Gain = \frac{V_{IN_AMC_FSR}}{V_{source}} = \frac{250mV}{240V} = \frac{1}{960} V/V$$

2. 전압 분할기(R1 및 R2)의 상단 부분에 대한 저항을 선택합니다. 전력 소비량은 I^2R 과 같으며 옴의 법칙에 따라 전류와 저항은 반비례합니다. 저항을 선형적으로 높이면 전원이 선형적으로 감소합니다. 따라서 큰 저항 값을 선택하면 전체 전력 소비가 최소화됩니다. 이러한 부품이 전압 분할기의 소비 전력을 좌우합니다. 따라서 R_{top} 값을 선택하여 전압 분할기의 피크 전력 사양을 충족시킵니다.

$$R_{top} = R1 + R2$$

$$P_{peak} \leq 15mW$$

$$P = I^2R = \frac{V^2}{R}, \quad P_{peak} = \frac{V_{peak}^2}{R}$$

$$R_{top} \geq \frac{V_{peak}^2}{P_{peak}} = \frac{(240)^2}{0.015} = 3.86M\Omega$$

$$R_{top} = 4M\Omega$$

3. R_{top} 저항 값을 여러 저항으로 분할하여 각 저항에 필요한 전력 정격을 최소화합니다.

$$R1 = R2 = 2M\Omega$$

4. 다음은 절연 증폭기의 입력 저항이 크다고 가정하겠습니다. 전압 소스에서 부품이 보는 입력 전압은 R3과 R_{top} 에 의해 생성되는 전압 분할기 효과에 따라 결정됩니다. R3를 해석합니다.

$$V_{In} = V_{source} \left(\frac{R3}{R3 + R_{top}} \right)$$

$$\frac{V_{In}}{V_{source}} = \frac{R3}{R3 + R_{top}}$$

$$R3V_{In} + R_{top}V_{In} = R3V_{source}$$

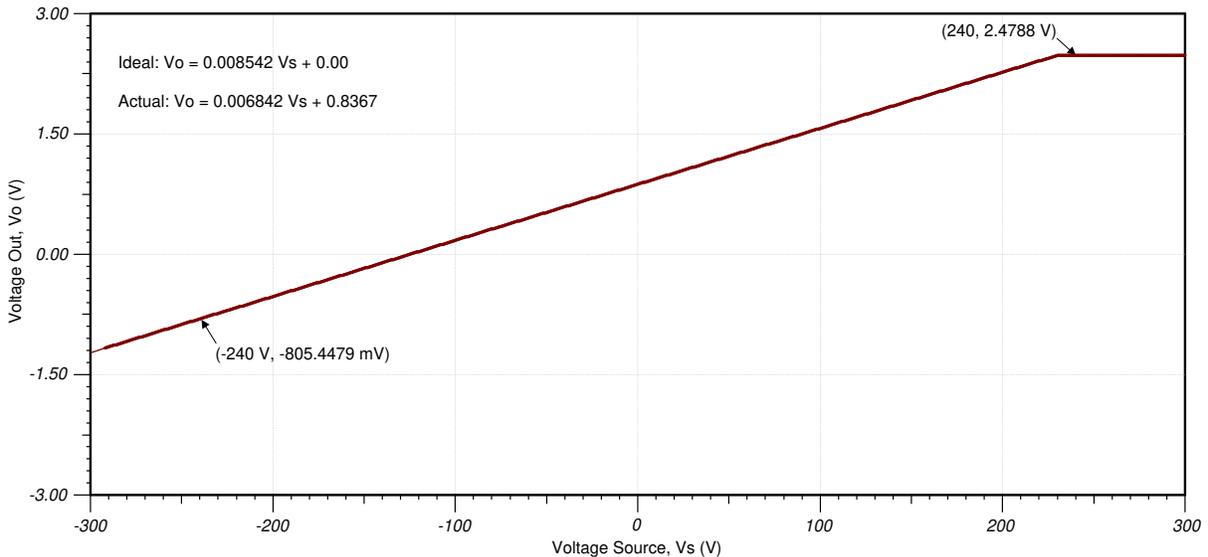
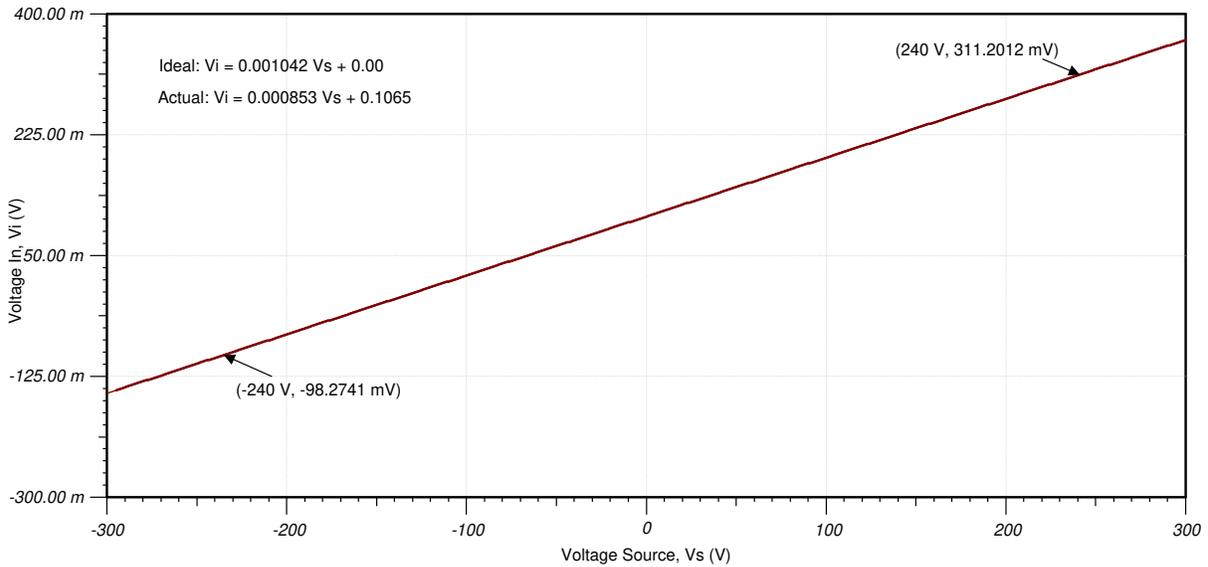
$$R_{top}V_{In} = R3(V_{source} - V_{In})$$

$$R3 = \frac{V_{In}R_{top}}{V_{source} - V_{In}} = \frac{(250mV)(4M\Omega)}{240V - 250mV} \approx 4.17k\Omega$$

DC 전송 특성 I

다음 그래프는 $\pm 240V$ 소스의 시뮬레이션된 출력을 보여줍니다. 소스는 $-300V \sim +300V$ 에서 스위칭되며 증폭기의 입력 및 출력 전압을 관찰합니다. 원하는 선형 범위는 증폭기 입력에서 $\pm 250mV$, 증폭기 출력에서 $\pm 2.05V$ 입니다. 증폭기 입력에서 전압 분할기의 전압 분할로 인해 0의 오프셋 오류와 약 $1.042mV/V$ 의 게인을 볼 수 있습니다. 증폭기의 출력에서 전압 분할기의 전압 소스 감쇠에 이어 **AMC1300B**의 고정된 $8.2V/V$ 게인으로 인해 0의 오프셋 오류와 $8.542mV/V$ 의 게인이 발생할 것으로 예상됩니다.

다음 그래프에서 볼 수 있듯이 시뮬레이션된 결과가 원하는 이상적인 출력과 일치하지 않습니다. 증폭기 입력에 $107mV$ 의 오프셋 전압 오류가 있습니다. 이는 부품의 $\pm 250mV$ 입력 범위와 비교하면 큰 오류입니다. 이 오프셋 오류는 증폭기의 출력으로 전달되며, $837mV$ 의 오프셋은 증폭기의 $\pm 2.05V$ 출력 범위에서 큰 부분을 차지합니다. 또한 회로는 상당한 게인 오류를 보여줍니다. 전압 분할기의 입력에서 $1.042mV/V$, 장치의 출력에서 $8.540mV/V$ 의 게인을 예상하지만, 대신 각각 $0.853mV/V$ 와 $6.842mV/V$ 의 게인이 관찰되므로 약 18.1%와 19.9%의 큰 게인 오차가 산출됩니다. 다음 섹션에서는 더 나은 설계 방법을 정의합니다.



설계 설명 II

이전 방법은 1MΩ 이상과 같이 입력 저항이 큰 장치를 사용할 때 전압 감지 애플리케이션에 적합합니다. AMC1300B 장치에는 22kΩ의 차동 입력 임피던스가 있어 이전에 보여준 오프셋 및 게인 오류가 발생합니다. 이 회로 구성에서 전압 감지를 위해 낮은 입력 임피던스 증폭기를 사용할 때의 게인 및 오프셋 오류는 다음 공식을 사용하여 추정할 수 있습니다.

$$\text{Gain Error (\%)} = \frac{R_3}{R_{\text{ind}}} \times 100$$

$$\text{Offset Error (V)} = I_{\text{bias}} \times R_3$$

게인 오류는 R3의 비이상적인 전압 분할로 인해 발생합니다. 증폭기의 입력 저항이 R3과 비슷하기 때문에, R1 및 R2에서 나오는 일부 전류는 R3을 통과하지 못하고 증폭기의 입력을 통과하게 됩니다. 그 결과로 증폭기 입력에서 예기치 않은 전압 강하가 발생합니다. 따라서 **설계 단계 I** 섹션의 **4단계**에 있는 공식이 유효하지 않으며, 증폭기의 입력 임피던스를 R3과 병렬로 두는 보다 완전한 공식을 고려해야 합니다. 오프셋 오류는 절연 증폭기의 양극 입력 핀에서 셉트 저항 R3을 통해 흐르는 바이어스 전류의 곱입니다. R3에 걸쳐 이 바이어스 전류는 입력에서 상당한 오프셋 전압을 초래한 후 증폭되어 출력으로 전달됩니다.

이전 공식을 사용하여 **설계 단계 I** 섹션에서 회로의 오류를 계산할 수 있습니다. 일반 데이터 시트 값을 사용했을 때 차동 입력 저항은 22kΩ이고 입력 바이어스 전류는 30μA입니다. R3에 대해 설계된 값은 4.17kΩ이며, 결과적으로 증폭기의 입력에서 18.7%의 게인 오류와 125mV의 오프셋 오류를 볼 수 있습니다. 이에 비해, 시뮬레이션된 오류는 증폭기 출력에서 19.9%의 게인 오류, 입력에서 오프셋의 107mV의 오프셋을 가집니다. 이러한 오류 수식은 오류의 예상 크기를 빠르게 확인할 수 있는 유용한 도구입니다. 시뮬레이션을 수행할 필요 없이 예상 오류를 최종 사용 사례로 허용할 수 있는지 알 수 있습니다.

AMC1300 정밀, ±250mV 입력, 강화 절연 증폭기 데이터 시트에서 언급한 바와 같이 전압 감지 애플리케이션을 위해 증폭기의 인버팅 단자와 직렬로 R3'을 사용하면 오프셋 및 게인 오류를 줄일 수 있습니다. 증폭기의 바이어스 전류는 양극 입력 핀과 마찬가지로 음극 입력 핀에서 유사한 오프셋을 생성합니다. 그러면 전체 오프셋 전압의 크기가 크게 줄어듭니다. 또한 R3 값을 선택할 때 증폭기 및 R3'의 입력 저항의 효과가 고려됩니다. 그러면 240V 소스의 더 이상적인 전압 분할이 가능하며 전체 게인 오류가 개선됩니다.

설계 단계 II - R3' 고려

설계 단계 I와 마찬가지로 게인 및 Rtop 저항 계산은 정확히 동일하며, 최상의 회로 성능을 제공하기 위해 R3 및 R3'을 계산하는 것이 더 중요합니다.

- 저항 분할기의 아래쪽 부분에서 절연 증폭기의 입력 전압 범위를 설정합니다. R3에 대한 이상적인 값은 게인, Rtop 및 Rind에 따라 달라집니다. 여기서 Rind는 증폭기의 차동 입력 임피던스입니다. Rtop은 R1+R2의 조합입니다.

$$R_3 = \frac{\text{Gain} \times R_{\text{top}}}{1 - \text{Gain} - \left(\text{Gain} \times \frac{2 \times R_{\text{top}}}{R_{\text{ind}}} \right)}$$

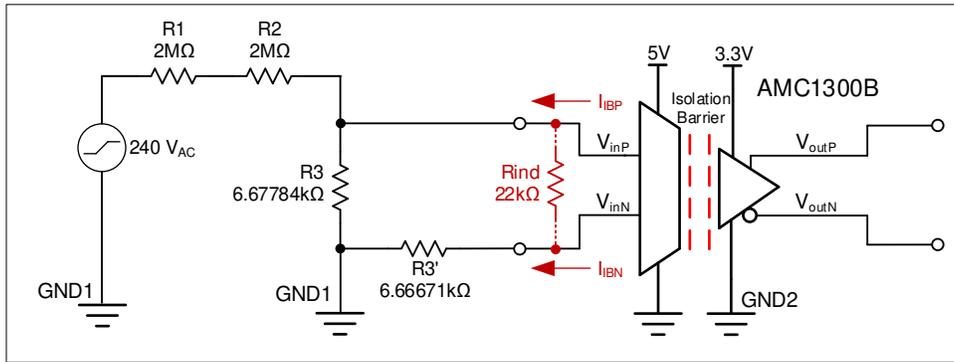
$$R_3 = \frac{0.001042 \times 4\text{M}\Omega}{1 - 0.001042 - \left(0.001042 \times \frac{8\text{M}\Omega}{22.22\text{k}\Omega} \right)} = 6.67784 \text{ k}\Omega$$

- R3'의 목적은 R3을 통해 흐르는 바이어스 전류에 의해 발생하는 게인 오류를 최소화하는 것입니다. 이상적 R3은 Rtop 및 R3의 병렬 조합입니다. 다음 수식을 사용하여 R3'을 계산합니다.

$$R_3' = \frac{R_{\text{top}} \times R_3}{R_{\text{top}} + R_3}$$

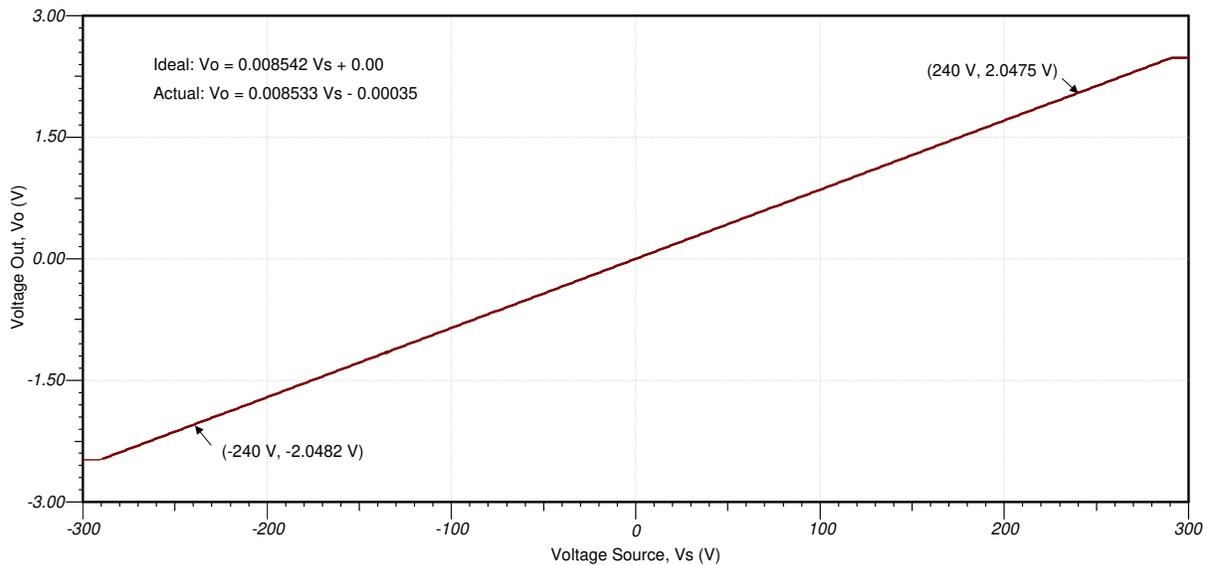
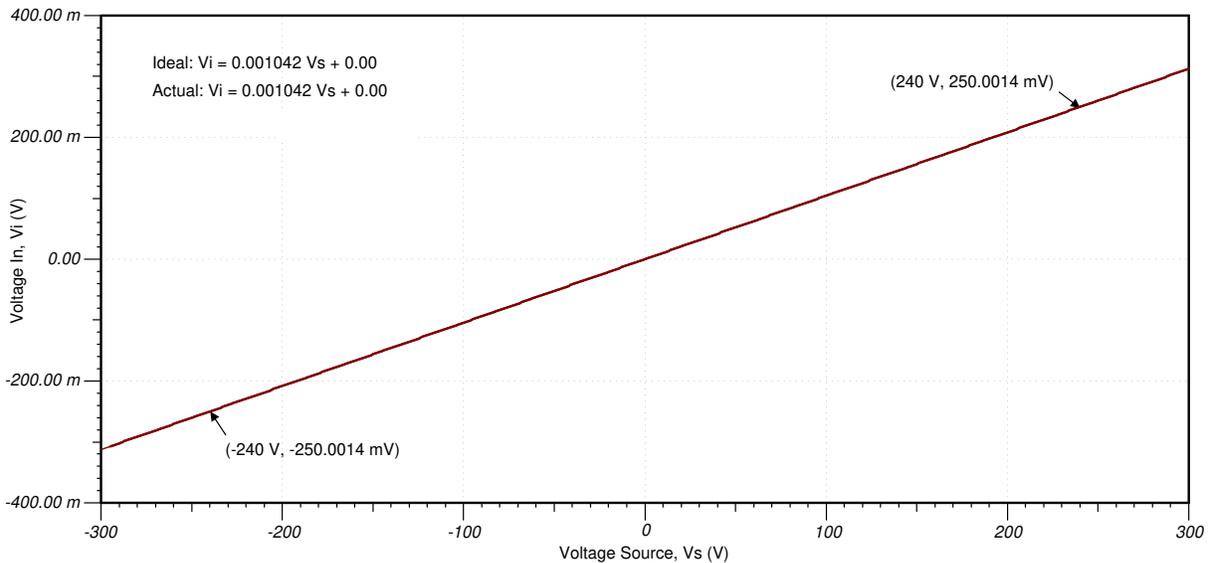
$$R_3' = \frac{4\text{M}\Omega \times 6.67784\text{k}\Omega}{4\text{M}\Omega + 6.67784\text{k}\Omega} = 6.66671 \text{ k}\Omega$$

이로 인해 이상적인 회로 구성이 되었습니다. 빨간색으로 표시된 Rind는 AMC1300B의 차동 입력 저항을 나타내며, 회로도에 추가해서는 안 됩니다.



DC 전송 특성 II

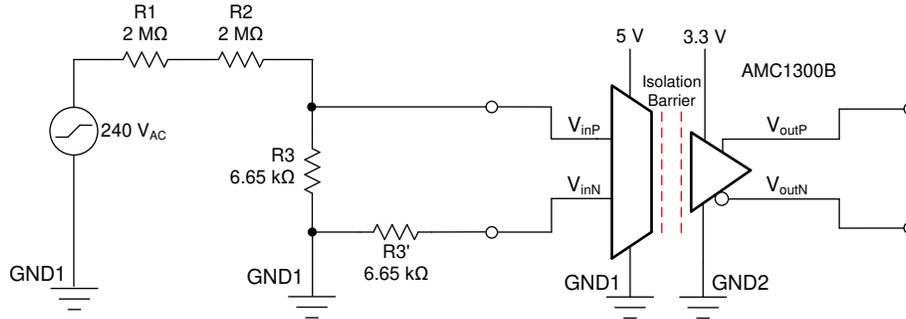
다음 그래프는 새로운 설계를 사용하여 ±240V 소스에 대해 시뮬레이션한 출력을 보여줍니다. 원하는 선형 범위는 증폭기 입력에서 ±250mV, 증폭기 출력에서 ±2.05V입니다.



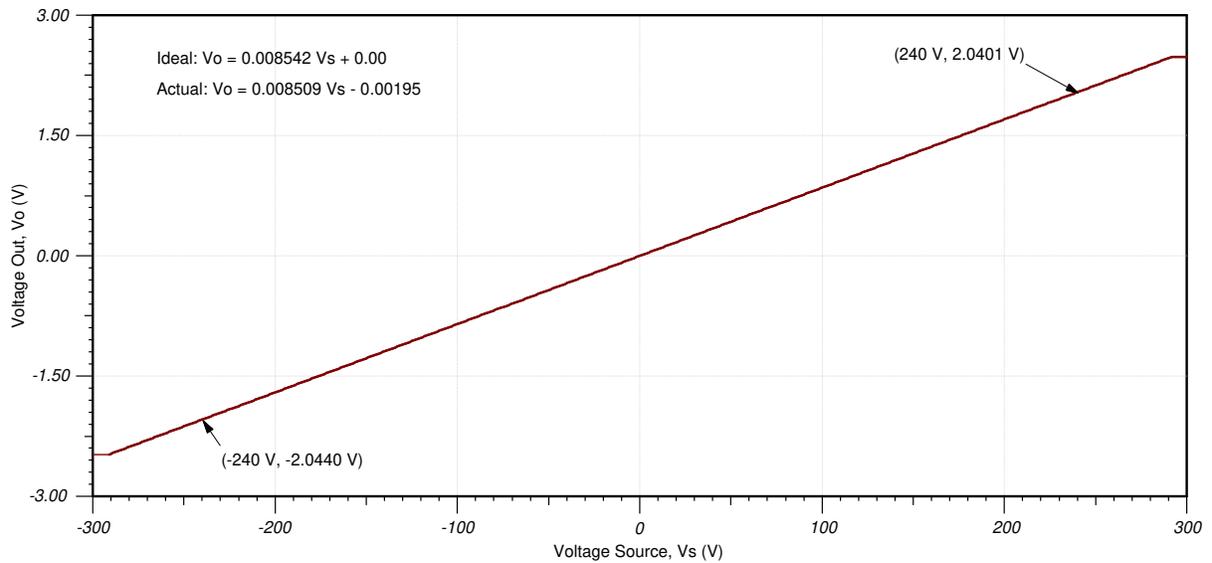
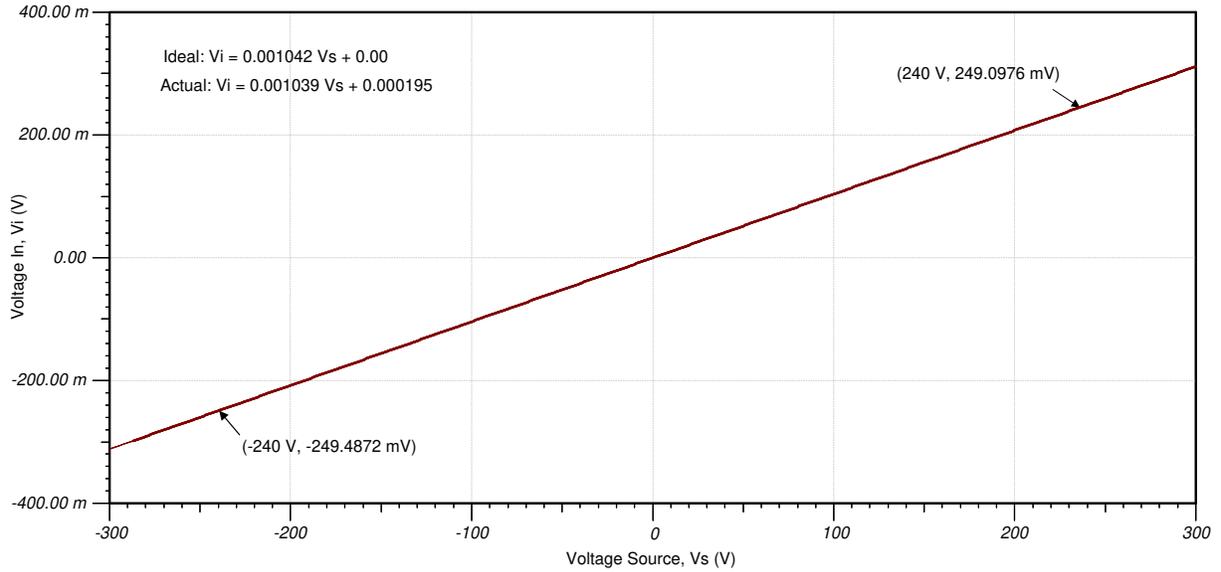
분명히 이 새로운 설계는 더 적은 오프셋 오류를 가집니다. 입력 오프셋 전압 및 게인 오류가 0으로 감소했습니다. 또한 수정된 회로는 입력 전압 분할기에 원하는 R3의 값과 R3'에 대한 이상적인 값을 찾는 데 사용되는 더 정확한 계산으로 인해 더 나은 게인 오류 성능을 보여줍니다.

이 양의 결과는 R3을 통한 AMC1300B 장치의 바이어스 전류에 의해 원래 설계에서 발생하는 오프셋 전압을 취소하기 위해 R3'을 추가한 결과입니다. 단점은 R3 및 R3'에 대한 이상적인 값을 상업적으로 사용할 수 없으며 실제로는 서로 매우 유사한 두 개의 저항 값을 사용하는 것이 실용적이지 않다는 점입니다.

*아날로그 엔지니어 계산기*를 사용하면 즉시 사용 가능한 가장 가까운 E189 시리즈 저항 값을 찾을 수 있습니다. 두 경우 모두 R3 및 R3'의 계산된 이상적 값에 가장 가까운 0.1% 저항 값은 6.65kΩ입니다. 최종 회로 다이어그램은 다음과 같습니다.

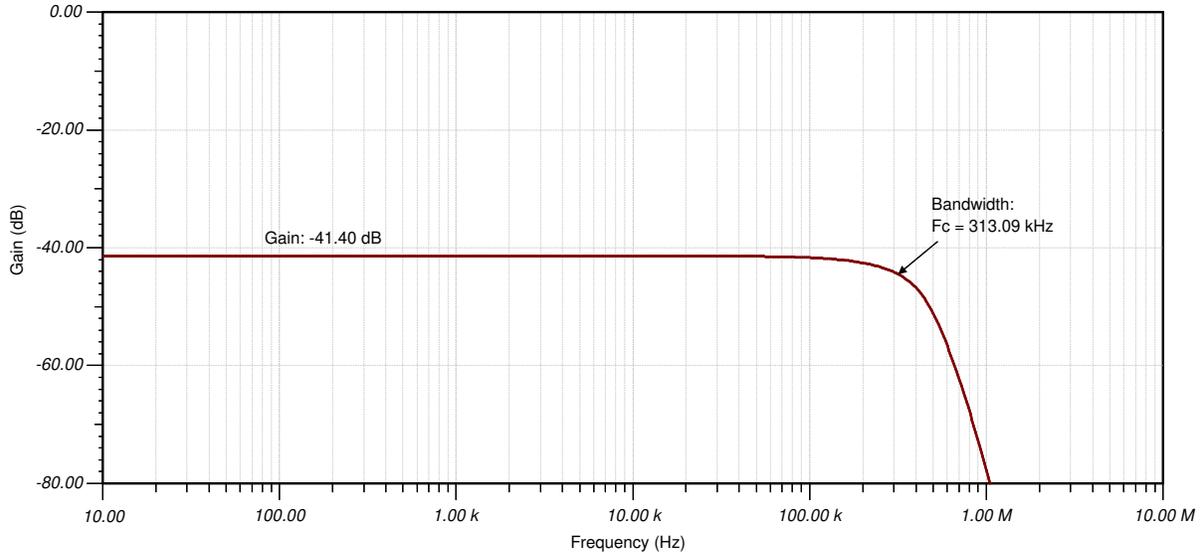


R3 및 R3'에 즉시 사용할 수 있는 저항이 있으므로 회로 성능은 다음 그래프에서 볼 수 있듯이 아주 좋습니다. 입력의 게인 오류는 18.2%에서 0.3%로 감소했습니다. 출력의 게인 오류는 19.9%에서 0.4%로 감소했습니다. 오프셋 오류도 입력에서 195 μ V, 출력에서 2mV로 감소했습니다.



AC 전송 특성 II

AC 스위치는 원하는 출력을 볼 수 있는 주파수 범위를 검증합니다. 다음 시뮬레이션 플롯에서 시뮬레이션된 게인 -41.40dB 또는 8.51mV/V는 DC 출력 플롯의 게인 결과와 일치합니다. 이는 이전 섹션에서 설명했듯이, 원하는 출력 게인 -41.37dB 또는 8.54mV/V에 상대적으로 가깝습니다. 설계의 시뮬레이션된 대역폭인 313.1kHz는 데이터 시트에서 일반 대역폭 사양인 310kHz로 설정된 예상치를 약간 초과합니다.



참고 자료

1. [아날로그 엔지니어의 회로 안내서](#)
2. [아날로그 엔지니어의 계산기](#)
3. [TI Precision Labs](#)

주요 절연 연산 증폭기 설계

AMC1300B	
VDD1	3.0V~5.5V
VDD2	3V~5.5V
입력 전압 범위	±250mV
공칭 게인	8.2
V _{OUT}	1.44V의 출력 공통 모드에서 차동 ±2.05V
입력 저항	19kΩ(일반, 단일 종단), 22kΩ(일반, 차동)
작은 신호 대역폭	310kHz
입력 오프셋 전압 및 드리프트	±0.2mV(최대), ±3μV/°C(최대)
게인 오류 및 드리프트	±0.3%(최대), ±15ppm/°C(일반)
비선형성 및 드리프트	±0.03%(최대), ±1ppm/°C(일반)
절연 과도 과전압	7.071kV _{PEAK}
작동 전압	1.5kV _{RMS} , 2.121kV _{DC}
CMTI(공통 모드 과도 내성)	75kV/μs(최소), 140kV/μs(일반)
AMC1300	

대체 절연 연산 증폭기 설계

AMC1200	
VDD1	4.5V~5.5V
VDD2	2.7V~5.5V
입력 전압 범위	±250mV
공칭 게인	8
V _{OUT}	차동 ±2V, 공통 모드는 공급 범위에 따라 다름
입력 저항	28kΩ(일반, 차동)
작은 신호 대역폭	100kHz
입력 오프셋 전압 및 드리프트	±1.5mV(최대), ±10μV/°C(최대)
게인 오류 및 드리프트	±1%(최대), ±56ppm/°C(일반)
비선형성 및 드리프트	±0.1%(최대), ±2.4ppm/°C(일반)
절연 과도 과전압	4kV _{PEAK}
작동 전압	1.2kV _{peak}
CMTI(공통 모드 과도 내성)	10kV/μs(최소), 15kV/μs(일반)
AMC1200	

개정 내역

참고: 이전 개정판의 페이지 번호는 현재 버전의 페이지 번호와 다를 수 있습니다

Changes from Revision * (June 2020) to Revision A (September 2021)

Page

- 문서 전체에서 표, 그림 및 상호 참조에 대한 번호 매기기 형식이 업데이트되었습니다..... **1**

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.com](https://www.ti.com)에서 확인하거나 이러한 TI 제품과 함께 제공되는 TI의 판매 약관(<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 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.

주소: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2021, 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