

개별과 집적 차동 증폭기의 비교

연산 증폭기(op amp)와 저항 네트워크를 사용하여 만들 수 있는 여러 유용한 회로 중 하나는 차동 증폭기(DA)입니다. DA를 사용하면 두 신호 간의 차이를 측정할 수 있으며, 이는 태양광 패널, 파워 बैं크 및 기타 DC/DC 모듈과 같은 시스템에서의 전류 및 전압 감지에 유용합니다. 또한 많은 DA가 게인을 적용할 수 있으며, 신호에 레퍼런스 전압을 추가하고, 입력 신호의 공통 모드 잡음을 줄일 수 있습니다.

DA의 주요 유형은 두 가지로, 개별(외부 저항 포함)과 집적(모놀리식 또는 온다이 저항 포함)이 있습니다. 이 문서에서는 측정된 데이터(오프셋 전압, 공통 모드 제거 비율 [CMRR], 게인 오류 및 온도에 따른 게인 오류 드리프트)를 사용하여 개별과 집적 DA를 비교합니다.

게인 오류

그림 1에서 볼 수 있듯 일반적인 DA는 연산 증폭기와 4개의 저항으로 구성됩니다. R1/R2 저항 래더의 중간 지점은 연산 증폭기의 반전 단자에 연결되고, R3/R4의 중간 지점은 비반전 단자에 연결됩니다.

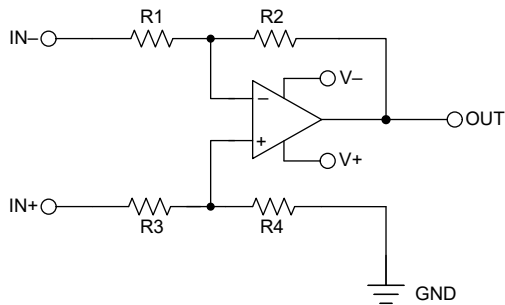


그림 1. 일반적인 DA

방정식 1은 일반적인 DA의 전달 함수를 나타냅니다. R2 및 R1(R1 = R3 및 R2 = R4로 가정)의 비율이 게인을 결정합니다. 낮은 게인 오류를 위해서는 정합 저항이 필요합니다. 허용 오차가 ±1%인 저항은 최대 2%의 게인 오류가 발생할 수 있습니다. 개별 저항은 변동이 클 수 있지만, 집적 DA에 내장된 모놀리식 저항은 트리밍을 통해 0.01% 수준의 게인 오류를 달성하는 경우가 많습니다.

$$V_{OUT} = (V_{IN+} - V_{IN-}) \times \left(\frac{R2}{R1}\right) + V_{REF} \quad (1)$$

게인 오류 드리프트

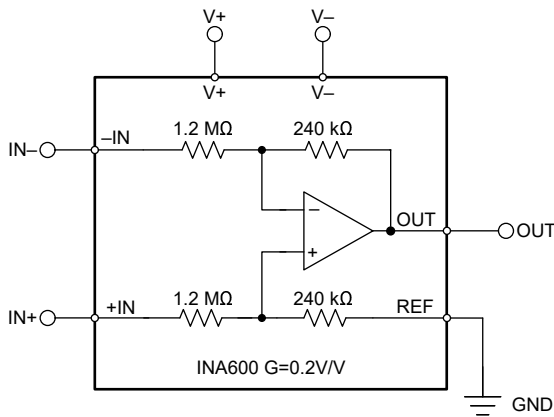
게인 드리프트는 또 다른 중요한 매개 변수로, 태양광 패널, 모터 드라이브, 배터리 팩처럼 하루 종일 또는 작동 중에 온도 변화가 일어날 수 있는 시스템에서는 특히 더 중요합니다. TI의 INA600 DA에 내장된 박막 저항은 모두 동일한 패키지 내에 있고 상호 교차되어 있기 때문에 4개의 저항이 모두 동일하게 온도 변화를 감지하여 함께 드리프트 되면서도 동일한 게인 비율을 유지합니다. 외부 저항을 사용한 개별 구현에서는 온도로 인한 스트레스가 보드 표면 전체에 걸쳐 그래디언트로 나타나고 그 결과 입력 신호에 적용되는 게인이 변하기 때문에 DA의 게인 드리프트 성능에 큰 편차가 생길 수 있습니다.

오프셋 전압

입력 신호에 게인을 적용할 때 오프셋 전압의 양은 출력 신호에서 유도되는 오류의 양에 큰 영향을 줄 수 있습니다. 따라서 모든 전압 또는 전류를 감지할 때는 오프셋 전압이 뛰어난 연산 증폭기를 선택하는 것이 좋습니다. 개별 DA를 구축할 때는 설계의 핵심에 있는 어떤 연산 증폭기든 자유롭게 선택할 수 있는 반면, 집적 DA의 오프셋 전압은 내부 연산 증폭기에 따라 고정되어 있습니다. 하지만 e-Trim™ 연산 증폭기 기술과 같은 저항 트리밍 기술을 활용하면 집적 DA에서 오프셋 전압을 낮출 수 있습니다.

CMRR

전압 및 전류 감지 애플리케이션에서 공통 모드 신호를 제거하는 기능은 DA를 선택할 때 고려해야 할 주요 요소입니다. 게인 오류와 마찬가지로 CMRR 역시 사용된 부품(예: 저항)의 정합에 따라 달라집니다. 일반적인 연산 증폭기의 CMRR은 100dB까지 높아질 수 있지만, 부정합 저항을 사용하면 CMRR이 60dB까지 떨어질 수 있으므로 잡음이 많은 환경의 산업용 시스템으로는 적합하지 않습니다. 일반적인 집적 DA의 CMRR은 최소 90dB이며 최대 130dB까지 높아질 수 있습니다.



레일 초과 전압 모니터링을 지원하는 게인 구성

DA는 일반적으로 유니티 게인 구성(즉, 게인 = 1)으로 표시되지만 0.5에서 최대 2까지 다양할 수 있습니다. DA에서 저항 네트워크 값을 변경하면 광범위한 게인 비율을 달성할 수 있습니다. 이를 통해 ADC의 입력 범위(3.3V 또는 5V)까지 전압을 낮춰야 하는 등 더 큰 감쇠가 필요할 수 있는 다양한 애플리케이션에 대응할 수 있습니다. **그림 2**에 나와 있듯이 저항 네트워크 값을 변경하면 더 큰 감쇠를 구현할 수 있습니다.

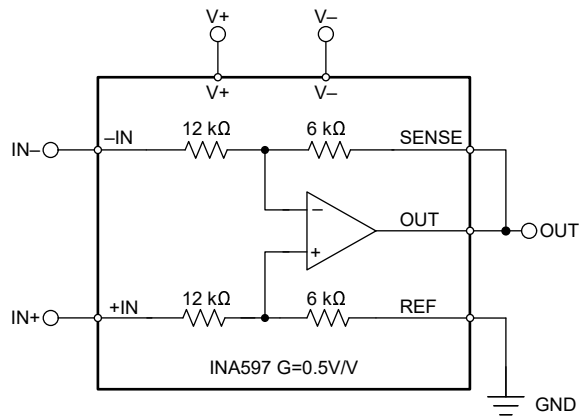


그림 2. INA600A DA와 INA597 DA 비교

DA의 이점 중 간과되는 것은 레일을 초과하여 입력할 수 있다는 점입니다. 저항 래더가 DA의 입력 전압을 나누기 때문에 내장 증폭기에는 감쇠된 전압만 가해집니다. 표준 연산 증폭기에서는 공급 전압이 동상 전압 범위를 제한합니다. 이러한 유연성 덕분에 DA는 사용 가능한 전원 레일

의 양이 제한된 상황에서 더 높은 전압을 모니터링하는 데 적합합니다. **그림 3**에 나와 있듯이 입력 전압 범위는 DA의 권장 공급 전압보다 확장될 수 있습니다.

6.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

		MIN	MAX	UNIT
Supply voltage $V_S = (V+) - (V-)$	Single-supply	2.7	40	V
	Dual-supply	± 1.35	± 20	
Input voltage range	Single-supply / Dual-supply	$(V-) - 40$	$(V-) + 85$	V
C_{BYP}	Bypass capacitor on the power supply pins (1)	0.1		μF
Specified temperature	Specified temperature	-40	125	$^{\circ}C$

그림 3. INA600 DA의 권장 작동 조건

전력 밀도가 높은 시스템에서는 인쇄 회로 보드 트레이스로 인해 증가한 스위칭 주파수 및 기생 인덕턴스가 추가적인 전압 간섭으로 이어질 수 있습니다. 공통 모드 잡음을 완전히 제거할 수 없기 때문에 이는 전압 모니터링 정확도에 영향을 미칩니다. CMRR이 높은 집적 DA를 사용하면 입력 전체에서 관찰된 공통 잡음이 제거되지만, 개별 DA에서 외부 저항으로 높은 CMRR을 달성하기는 어렵습니다. 이는 저항 간의 미세한 부정합 때문이며, 특히 게인 비율이 높을수록 더욱 그렇습니다.

방정식 2는 기생 인덕턴스와 스위칭 주파수가 신호의 전압 간섭에 어떤 영향을 미치는지 나타냅니다.

$$V = L \times \frac{di}{dt} \quad (2)$$

그림 4는 집적 DA의 주파수에 따른 CMRR 성능을 보여줍니다.

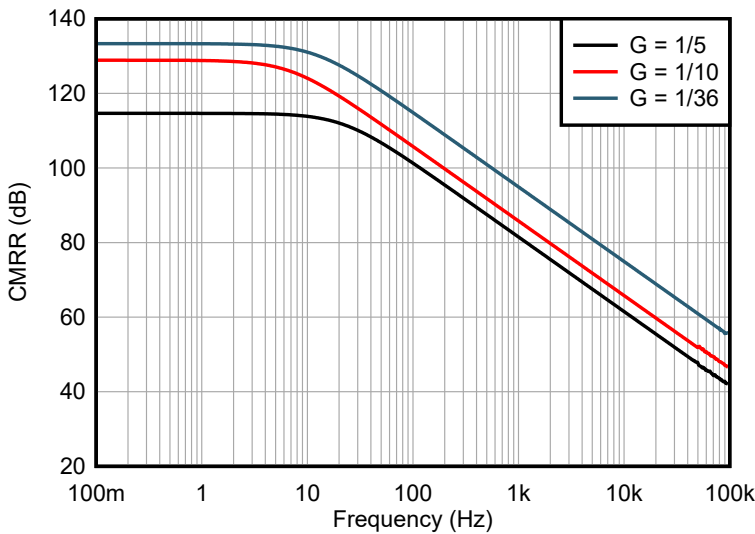


그림 4. INA600 DA의 주파수에 따른 출력 기준 CMRR

테스트 설정 및 비교

게인과 오프셋 오류를 전체 온도에 걸친 각 회로의 상대 성능 측정 값으로 사용했습니다. 각 장치의 경우 정밀 소스 측정 장치를 DA의 두 입력 핀에 연결하고 보정된 8.5자리 멀티미터를 사용하여 오프셋 전압의 변화를 측정했습니다. 정확한 장치 성능을 나타내기 위해 모든 테스트를 5회 평균 스위프로 반복했습니다. 각 장치는 ±18V의 분할 공급 구성에서 공통 모드 전압을 -35V에서 35V로 스위칭하도록

구성했습니다. 과열 테스트는 오븐을 이용해 수행했으며, 테스트 기판 전체에 균일한 온도를 유지하기 위해 충분한 담금 시간을 썼습니다.

공통 모드 전압을 중간 값으로 유지하면서 장치 입력에 차동 전압을 강제하면 게인 오류와 게인 오류 드리프트를 모두 테스트할 수 있습니다. 각 장치를 해당 입력 범위로 스윙하면 출력이 -10V~+10V의 범위까지 강제되므로 해당 기율기를 이상적인 기율기와 비교하고 게인 오류 비율을 백분율로 평가할 수 있습니다.

표 1은 개별 DA와 TI의 두 가지 집적 DA의 CMRR 성능과 오프셋을 다양한 작동 온도에서 비교한 것입니다.

온도(°C)	개별 차동 증폭기		INA600		INA597	
	CMRR(dB)	오프셋(μV)	CMRR(dB)	오프셋(μV)	CMRR(dB)	오프셋(μV)
125	73.06	-237.88	98.33	801.82	102.66	-26.12
85	71.89	-285.95	100.12	661.56	103.70	-10.22
25	70.35	-221.42	101.63	582.19	100.33	-3.24
-40	73.26	-206.95	106.82	500.60	105.97	13.4

표 1. CMRR 및 오프셋 전압 비교

표 2는 동일한 개별 DA와 집적 DA의 게인 오차 및 드리프트 성능을 다양한 작동 온도에서 비교한 것입니다.

온도(°C)	개별 차동 증폭기		INA600		INA597	
	게인 오차(%)	GE 드리프트(ppm/°C)	게인 오차(%)	GE 드리프트(ppm/°C)	게인 오차(%)	GE 드리프트(ppm/°C)
125	0.14806	17.12823	-0.0015	-0.08134	-0.0093	-0.20993
85	0.07448		-0.0011		-0.0085	
25	-0.03470		-0.0005		-0.0072	
-40	-0.13460		-0.0001		-0.0058	

표 2. 게인 오류 및 드리프트 비교

예상대로, 집적 DA는 높은 CMRR, 낮은 게인 오류 및 낮은 게인 오류 드리프트를 달성하는 데 개별 DA에 비해 뛰어난 성능을 보였습니다. 개별 DA의 오프셋 전압이 집적 DA 중 하나보다 우수했지만, 이는 소프트웨어 보정을 통해 보완할 수 있습니다.

그림 5에는 세 가지 DA 유형 각각의 간략한 레이아웃과 각 솔루션의 크기 비교가 나와 있습니다. 비교를 위해 가장 작은 장치 패키지와 함께 0402 패키지의 저항 및 커패시터를 사용했습니다.

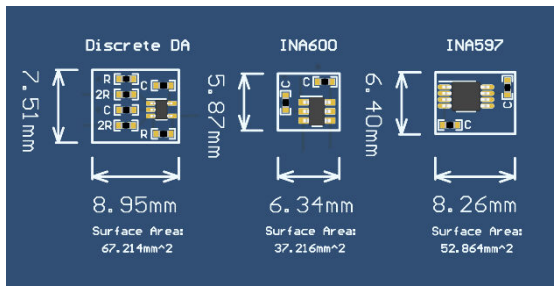


그림 5. 크기 비교

결론

전압을 감지하는 방법은 여러 가지가 있지만, 집적 DA는 개별 구현으로는 달성할 수 없는 탁월한 성능적 이점을 제공합니다. TI의 **INA600**와 같은 집적 DA에서는 연산 증폭기의 공급 전압에서 발생하는 입력 전압 제한이 문제가 되지 않으며, 높은 감쇠 비율 덕분에 공급 레일을 초과하는 전압도 유연하게 모니터링할 수 있습니다.

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 © 2026, 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 © 2026, Texas Instruments Incorporated

Last updated 10/2025