

## Technical White Paper

# 위성 감지 페이로드를 위한 혁신적인 반도체가 우리 세상을 이해하는 데 기여하는 방법



Jason Clark

### 추상

1950년대에 우주 경쟁이 시작된 이래로 과학자들은 지구의 환경을 모니터링하고 측정하기 위한 장비를 설계해 왔습니다. 1958년, 미국 최초의 위성인 Explorer 1은 지구를 둘러싼 우주 방사선대를 측정했으며, 이후 이 실험을 설계한 과학자의 이름을 따 밴 앨런 대로 명명되었습니다. 이 발사와 밴 앨런 대의 발견은 오늘날까지 지속되는 지구 위성 관측 시대의 시작을 알리는 계기가 되었습니다. 기술이 발전함에 따라 위성 센서의 성능이 비약적으로 향상되어 기상 패턴, 오염물질 농도, 빙하 두께 및 작물 수확량까지 측정할 수 있게 되었습니다.

이 백서는 레이더 및 광학 이미징을 위한 위성 탑재 페이로드 장비의 다양한 유형을 살펴보고, 이러한 장비가 혁신적인 반도체를 사용하여 어떻게 구성되는지를 다룹니다.

### 목차

1 위성의 센서 기술.....	2
2 위성용 능동 감지 페이로드.....	2
3 위성용 수동 감지 시스템.....	5
4 결론.....	6

### 그림

그림 2-1. 평탄한 표면 대상에서 반사되는 라디오파형.....	2
그림 2-2. 라디오파의 더블 바운스.....	3
그림 2-3. 레이더 이미징 페이로드 블록 다이어그램.....	4
그림 2-4. 레이저 이미징 블록 다이어그램.....	5
그림 3-1. 위성의 수동 감지 시스템용 광학 이미징 페이로드 블록 다이어그램.....	5

### 상표

모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

## 1 위성의 센서 기술

측정을 위해 위성에 사용되는 감지 페이로드("센서 기기"라고도 함)의 유형은 다음 두 가지 범주로 나눌 수 있습니다.

- 능동 센서는 빛이나 전자기파 형태로 자체 조명을 생성하며, 이는 카메라 플래시를 사용하는 방식과 유사합니다. 2025년 공동 NASA-인도우주연구기구(ISRO) 임무로 발사되는 위성에 탑재된 합성 개구 레이더(SAR)는 능동 센서의 한 예입니다.
- 수동 센서는 외부 광원을 감지하며, 이는 태양빛을 조명으로 사용하는 야외에서 사진을 촬영하는 방식과 유사합니다. 수동 센서의 한 예로는 유럽우주국(ESA)의 Sentinel 2 임무에서 사용된 것과 같은 멀티스펙트럴 이미저가 있습니다.

## 2 위성용 능동 감지 페이로드

SAR은 위성에 있는 능동 감지 페이로드의 일반적인 유형입니다. 모든 레이더 시스템과 마찬가지로 SAR은 안테나에서 라디오파의 펄스 또는 주파수 치프(Chirp)를 방출하여 이는 대상까지 전파된 후 반사되어 동일한 안테나로 수신됩니다. 이 이동이 이루어지는 데 걸리는 시간을 측정하면 대상까지의 거리를 결정할 수 있습니다. 그러나 위성이 지면의 대상과 특정 각도로 비행하기 때문에(그림 2-1 참조) 반사 에너지의 양은 대상의 평탄도와 각도에 따라 결정됩니다.

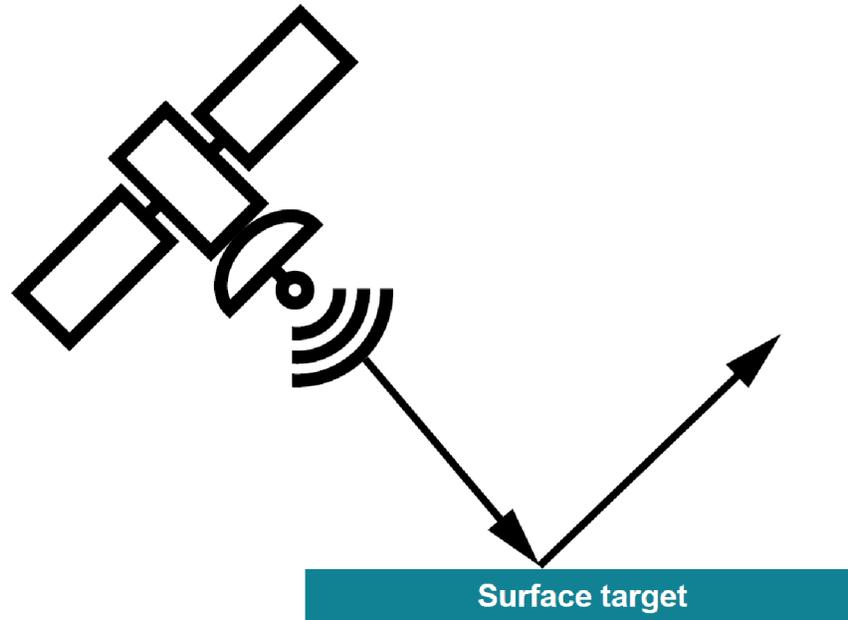


그림 2-1. 평탄한 표면 대상에서 반사되는 라디오파형

예를 들어, 평탄한 수면은 수신기(예: 안테나)에서 떨어진 레이더 감지에 사용되는 모든 라디오파를 반사합니다. 반사 에너지의 양은 회색조 이미지로 표시되며, 흰색 영역은 반사가 높음을 나타내고 어두운 영역은 반사가 낮음을 나타냅니다.

또한 라디오파는 여러 물체에서 반사될 수 있습니다. 예를 들어, 먼저 수면에 반사된 후 나무에 반사되는 경우로, 이는 더블 바운스라고 합니다. 더블 바운스는 SAR 이미지에서 평탄한 수면이 어둡게 보이는 대신 밝게 보일 수 있으며, 그림 2-2에서 볼 수 있듯이 라디오파는 먼저 수면의 표면을 반사 한 다음 나무를 반사할 수 있습니다.

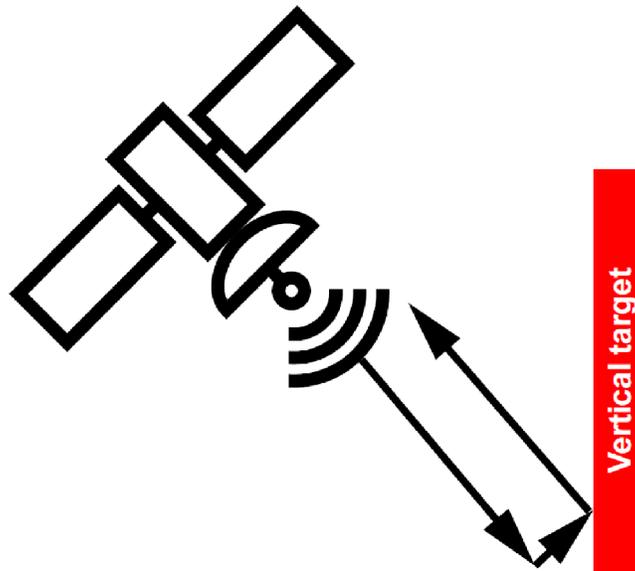


그림 2-2. 라디오파의 더블 바운스

레이더의 주파수는 관찰 가능한 범위에 큰 영향을 미치는 중요한 속성입니다. 라디오파는 파장의 길이보다 큰 물체에서만 반사됩니다.

라디오파의 반사 특성 덕분에 레이더는 구름뿐만 아니라 지상의 식생을 통과하여 관측할 수 있습니다. 초저주파의 레이더는 토양을 관통하여 수분 수준이나 광학 이미징으로 감지할 수 없는 특징을 파악할 수도 있습니다.

레이더의 또 다른 기능은 조리개 크기입니다. 레이더의 유효 크기는 지면을 스캔할 때 레이더 빔의 스팟 크기에 반비례합니다. 스팟 크기는 레이더의 방위각 해상도라고 하며, 이는 위성이 서로 가까이 있는 두 개의 객체를 구별할 수 있는 능력을 의미합니다. 더 큰 레이더는 지면에서 더 작은 스팟 크기를 형성하며, 더 높은 방위각 해상도를 제공합니다. 그러나 레이더의 크기와 무게를 고려할 때, 매우 큰 레이더를 우주로 발사하는 것은 현실적으로 어렵습니다. 하지만 시스템 설계자는 컴퓨터 프로세싱을 통해 레이더가 물리적 크기보다 더 크게 보이도록 구현할 수 있습니다. 이 방법은 위성이 대상을 따라 이동한다는 특성을 활용하여, 레이더 스팟 크기 내에서 다중 중첩된 펄스의 반사를 이용해 조리개를 합성하는 방식입니다.

위성에서 SAR 장비를 구현하려면 매우 특수한 무선 주파수(RF) 부품이 필요합니다. 그림 3은 위성에서 SAR을 구현하기 위한 레이더 이미징 페이로드의 일반적인 블록 다이어그램을 보여줍니다.

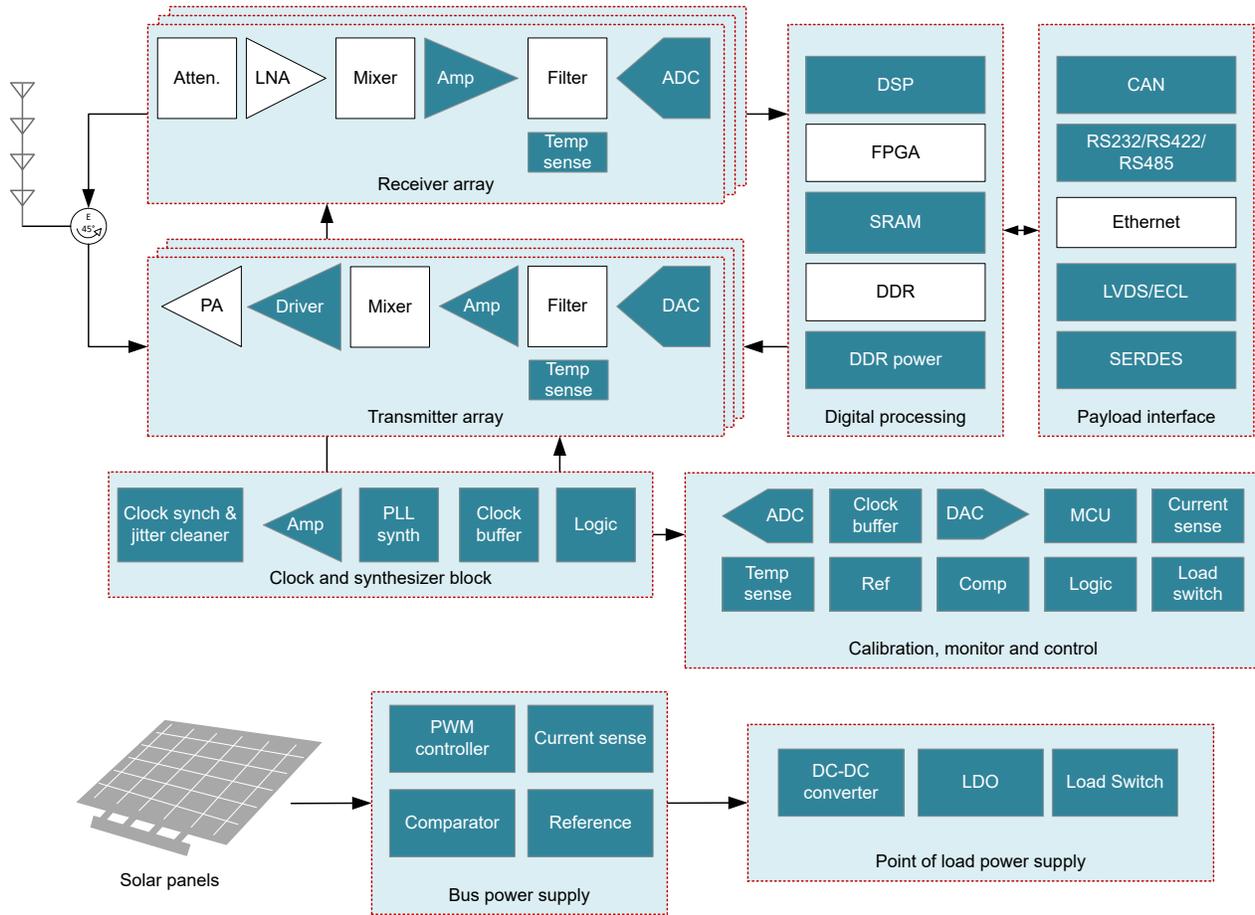


그림 2-3. 레이더 이미징 페이로드 블록 다이어그램

레이더 이미징 페이로드의 고속 데이터 컨버터는 레이더의 성능 및 아키텍처를 파악하는 데 도움이 됩니다. 예를 들어, RF 샘플링 데이터 컨버터는 레이더 주파수 대역을 직접 디지털 정보로 변환하여 처리할 수 있습니다. 이러한 데이터 컨버터에 대한 가장 중요한 요구 사항은 다음과 같습니다.

- 최대 입력 주파수보다 큰 아날로그 입력 대역폭.
- 레이더 신호의 순간 대역폭의 두 배 이상인 샘플링 속도.
- 관심 주파수에서 시스템 성능 요구 사항을 충족하기 위한 높은 신호 대 잡음비와 스퓨리어스 프리 동적 범위.
- 미션 요구 사항을 충족하는 방사능 내성.

예를 들어, AFE7950-SP RF 샘플링 트랜시버는 다음과 같은 기능을 제공합니다.

- L-대역에서 X-대역으로 RF 샘플링을 지원하는 10.6GHz, -3dB 아날로그 입력 대역폭.
- 3GSPS 아날로그-디지털 컨버터(ADC) 6개와 12GSPS 디지털-아날로그 컨버터(DAC) 4개. 1.2GHz의 최대 순간 대역폭은 더 높은 범위 해상도를 제공하며, 재밍 방지 기술 구현을 용이하게 합니다.
- -155dBc/Hz 이하의 잡음 스펙트럼 밀도와 5GHz 입력 주파수에서 76dBc 이상의 3차 상호 변조 왜곡(IMD3)은 높은 수신기 감도를 가능하게 합니다.
- 100krad/75MeV의 핀-호환 설계는 저궤도(LEO)부터 정지궤도(GEO)까지의 운용을 가능하게 합니다.

또 다른 유형의 능동 센서는 레이더의 전자기파 대신 레이저를 조명원으로 사용하지만, 시간을 이용해 거리를 측정하는 원리는 동일하게 적용됩니다. 그러나 레이저는 매우 높은 주파수와 짧은 파장에서 작동하기 때문에 구름이나 지상의 물체를 투과할 수 없으며, 따라서 맑은 조건이 필요합니다. 레이저 시스템은 안테나 대신 포토다이오드를 사용하여 목표물에서 반사된 레이저 광을 수신하고 측정합니다. 그림 2-4에는 이러한 유형의 시스템의 블록 다이어그램이 나와 있습니다.

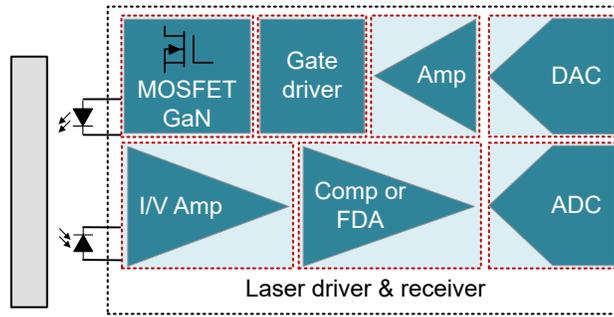


그림 2-4. 레이저 이미징 블록 다이어그램

그림 2-4에서 볼 수 있듯이 포토다이오드 센서 어레이 뒤에 트랜스임피던스 증폭기가 있어 전류 출력을 데이터 컨버터가 샘플링할 수 있는 전압으로 변환합니다. 이 경우, 데이터 컨버터는 반사된 광 펄스의 상승 에지와 파형을 샘플링할 수 있을 만큼 충분히 빠른 속도를 가져야 하며, 이는 레이저의 상승 시간과 펄스 반복률에 따라 결정됩니다.

### 3 위성용 수동 감지 시스템

최초이자 가장 익숙한 수동 센서 시스템은 카메라입니다. 휴대폰의 카메라와 마찬가지로 보조 금속 산화물 반도체(CMOS) 또는 전하 결합 장치(CCD)를 사용하여 태양과 같은 광원에 의해 대상에서 반사되는 빛의 광자를 캡처합니다. 센서의 각 픽셀에 의해 캡처된 광자는 ADC를 통해 디지털 정보로 변환되고 시스템 프로세서에 의해 처리되어 우주에서 지구 사진을 생성합니다.

이러한 이미지를 통해 날씨 패턴, 빙하의 분포 및 자연 재해의 영향을 볼 수 있습니다. 그러나 이미지의 품질은 센서의 해상도(픽셀 수), 센서의 동적 범위(픽셀이 저장할 수 있는 광자의 수), 그리고 해당 정보를 디지털 형식으로 변환하는 정확도에 따라 결정됩니다. 그림 3-1은 위성에 수동 감지를 구현하기 위한 광학 이미징 페이로드의 일반적인 블록 다이어그램입니다.

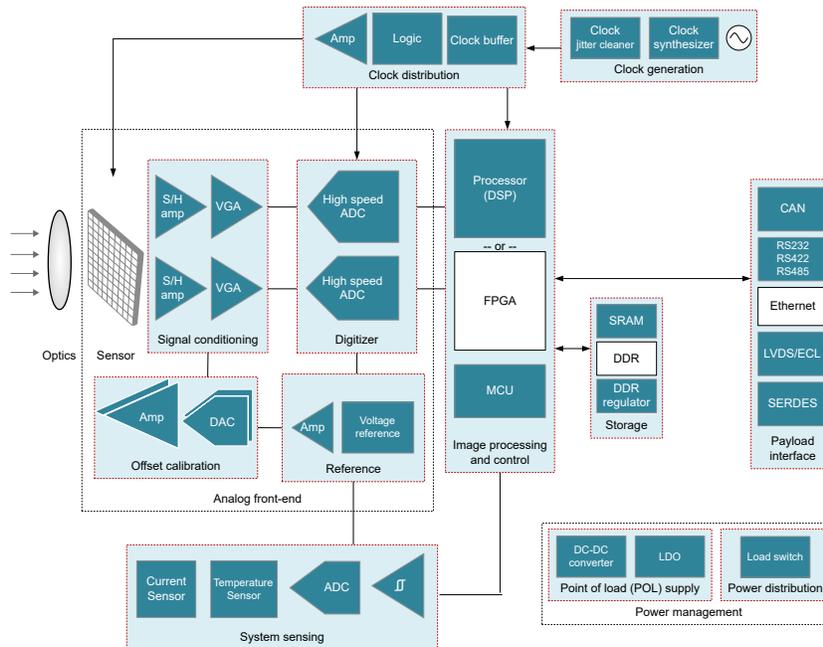


그림 3-1. 위성의 수동 감지 시스템용 광학 이미징 페이로드 블록 다이어그램.

일부 이미지 센서는 데이터 컨버터를 통합하지만, 나머지 센서는 [ADC3683-SP](#)와 같은 외부 데이터 컨버터의 성능을 활용하면 다음과 같은 기능을 제공합니다.

- 최대 65MSPS의 이중 채널 18비트 해상도로 최대 이미지 센서 동적 범위 추출이 가능합니다.
- 160dBFS/Hz의 잡음 스펙트럼 밀도는 깨끗한 이미지를 위한 높은 신호 대 잡음비를 제공합니다.
- 100mW 미만의 소비 전력으로 전자 장치에서 발생하는 열을 줄여 센서 잡음에 영향을 미칠 수 있습니다.
- 100krad/75MeV(-SP 버전) 및 30krad/43MeV(-SEP 버전)는 LEO에서 GEO까지 모든 우주 궤도에서 사용할 수 있습니다.
- 11mm x 11mm 세라믹 쿼드 플랫 팩(-SP 버전)

가시 광선에 가장 친숙하지만 적외선과 자외선처럼 사람의 눈에 보이지 않는 다양한 빛의 파장이 있습니다.

과학자들은 모든 빛의 스펙트럼에서 사진을 관찰하여 대기의 오염 물질 양, 작물 수확량의 변화, 지질 형성, 식물 밀도 및 수분 등의 세부 사항을 측정할 수 있습니다. 이러한 세부 사항이 시간이 지남에 따라 어떻게 변화하는지 탐구함으로써 과학자들은 먼 과거에 일어난 일을 추정할 수 있지만 미래에 일어날 수 있는 일을 예측할 수 있습니다.

다음과 같은 세 가지 방법으로 비가시광선을 측정할 수 있습니다.

- 단일 대역 이미징은 전자기 스펙트럼에서 하나의 대역을 측정합니다. 예를 들어 적외선 센서는 온도 변화를 측정하기 위해 적외선 방사선을 감지합니다.
- 다중 스펙트럼 이미징은 여러 대역의 이미지를 결합하여 단일 밴드로 볼 수 없는 초목 밀도와 같은 현상을 감지합니다. 멀티스펙트럴 센서는 3개 이상의 거친 스펙트럼 대역을 측정합니다.
- 초분광 이미징은 특정 광대역의 매우 좁은 절편에서 이미지를 캡처합니다. 초분광 센서는 수백 개의 좁은 대역을 측정하여 멀티스펙트럴 이미징의 거친 대역에서는 볼 수 없는 특징을 식별할 수 있습니다.

이러한 모든 이미징 시스템은 측정되는 빛의 특정 대역에 민감한 센서 IC에 의존합니다. 가시광선 또는 근적외선 스펙트럼에 CMOS 또는 CCD 센서를 사용할 수 있지만, 더 긴 빛의 파장에는 적용되지 않습니다. 인듐 질갈륨 비소 검출기는 900nm에서 2500nm에 이르는 파장을 측정할 수 있으므로 적외선 스펙트럼에서 더 먼 영역을 감지하는 데 적합합니다.

이미지 센서 앞에 프리즘 또는 격자판이 배치되어 빛을 개별 대역으로 구분합니다. y 차원의 각 센서 픽셀은 단일 대역을 감지합니다. 그 결과 얻어진 2차원 이미지는 선을 따라 각 지점의 모든 스펙트럼 정보를 포함합니다. 그런 다음 각 개별 픽셀의 스펙트럼 구성을 조사하여 무기물, 식물 또는 오염과 같은 패턴이나 특성을 찾는 것이 가능해집니다.

그러나 센서는 이미지를 생성하는 데 필요한 구성 요소 중 하나에 불과합니다. 센서의 출력 신호는 조정 과정을 거친 후, 고속 ADC를 통해 디지털화되며, 이후 가시화 가능한 형식으로 처리됩니다. 위에서 설명한 이미지 센서와 마찬가지로 ADC의 성능은 이미지 품질에 필수적이며 최상의 결과를 얻으려면 센서의 동적 범위와 일치해야 합니다. 또한 센서 출력 또는 데이터 컨버터에 잡음을 추가하지 않도록 신호 컨디셔닝, 클로킹 및 전원 공급 장치 부품을 신중하게 선택하는 것이 중요합니다.

[TPS7H1111-SP](#) RF 저손실 레귤레이터와 같은 저잡음 부품은 시스템에 가능한 한 적은 잡음을 유입합니다.

## 4 결론

이러한 모든 감지 기술은 과학 커뮤니티에 귀중한 데이터를 제공하여 지구의 과거, 현재 및 잠재적 미래의 가능성에 대해 더 잘 이해할 수 있도록 도와줍니다. 위성 감지 페이로드의 정확도와 필수 구성 요소(반도체 등)가 향상됨에 따라, TI는 세계 미래에 대한 더 상세한 측정과 더 정확한 예측을 할 수 있을 것입니다.

## 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, 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://ti.com)에서 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 제안했을 수 있는 추가 또는 기타 조건을 반대하거나 거부합니다.

주소: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2025, 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 © 2025, Texas Instruments Incorporated