

# 태양광 애플리케이션에서 확장 가능한 입력 바이패스 스위치로 이상적인 다이오드 컨트롤러를 사용하는 방법

**Yang Wu**

Analog Field Applications Engineer  
China East Sales

**Abhijeet Godbole**

Systems Engineer  
Analog Power Products

**Dilip Jain**

Systems Manager  
Analog Power Products

## 머리말

태양광 발전(PV) 시스템에서 모듈 차원 전력 전자 장치 (MLPE)는 특히 그늘과 같은 특정 조건 하에서 전력 생산 성능을 향상시킵니다. 한때 비용이 많이 드는 전문 분야로 여겨졌기 때문에 MLPE는 현재 태양광 산업에서 가장 빠르게 성장하는 시장 부문 중 하나입니다. 태양광 전력 옵티마이저는 PV 패널의 전원 출력을 최적화하고 효율성을 높이는 MLPE의 한 유형입니다.

기존의 태양광 전력 옵티마이저는 바이패스 회로에 P-N 접합부 다이오드 또는 쇼트키 다이오드를 사용합니다. 높은 전류가 다이오드를 통해 흐르게 되면 높은 전력 손실로 인해 다이오드의 순방향 전압 강하로 인해 심각한 열 문제가 발생할 수 있습니다. 향상된 방법은 다이오드보다 전압 강하가 낮은 MOSFET(금속 산화막 반도체 전계 효과 트랜지스터)를 사용하여 고전력 손실을 극복합니다.

또한 태양광 옵티마이저는 이제 주어진 전력 수준에서 전도 손실이 낮아져 효율성이 향상되고 시스템 비용이 절감되므로 두 개의 태양광 패널을 직렬로 연결하여 최대 150V의 과도 전압까지 더 높은 입력 전압을 지원할 수 있습니다. 이 문서에서는 부동 게이트 이상적 다이오드 컨트롤러를 사용하는 확장형 바이패스 회로 솔루션에 대해 설명합니다. 이 회로는 태양광 전력 옵티마이저, 신속 종료, PV 정션 박스 등의 태양광 전력 애플리케이션에서 넓은 전압 지

원을 제공하는 바이패스 스위치와 관련된 과제를 해결합니다.

## 태양광 전력 옵티마이저란?

그림 1에서는 개별 PV 패널에 태양광 전력 옵티마이저가 설치된 PV 시스템을 보여줍니다.

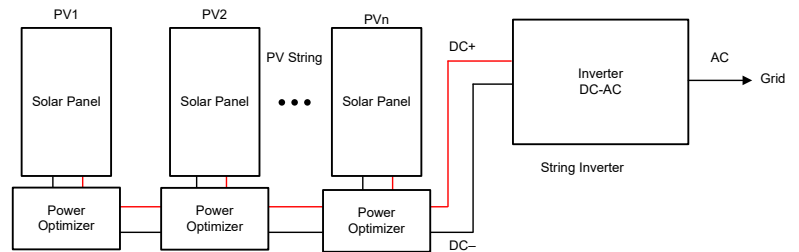


그림 1. 태양광 전력 옵티마이저가 있는 PV 시스템.

전력 옵티마이저는 마이크로인버터와 스트링 인버터의 절충안이라고 생각하면 됩니다. 마이크로 인버터와 같은 개별 태양광 패널에 설치되지만, 그 기능은 DC를 AC 전기로 변환하는 것과 아무 상관이 없습니다. 전력 옵티마이저는 각 태양광 패널의 최대 전력을 실시간으로 추적하고 인버터로 전송하기 전에 출력 전압을 조정합니다. 따라서 인버터는 훨씬 더 많은 전기를 처리할 수 있습니다. 그 결과, 태양 방향, 그늘이나 하나 이상의 패널 손상에 관계없이 모든 단일 태양광 패널에 대해 최적의 전력 출력 성능을 제공합니다. 각 PV 패널에 전력 옵티마이저가 설치된 태양광 시

시스템은 개별 패널 수준 옵티마이저 없이 시스템에 비해 효율성이 20%~30% 더 높아질 수 있습니다.

### 태양광 전력 옵티마이저의 출력 바이패스 기능

고전력 태양광 인버터의 경우 여러 PV 패널을 직렬로 연결하는 것은 인버터 입력으로 높은 DC 입력 전압을 달성합니다. **그림 2**에 나와 있는 것처럼, 해당 PV 패널에 최적화 장

치를 배포하면 효율성이 가장 높습니다. PV 스트링은 옵티마이저의 출력에 의해 연결됩니다. 태양광 패널 중 하나가 고장 나면 PV 스트링 전압이 붕괴될 수 있는데, PV 패널은 모두 직렬로 연결되어 있기 때문입니다. 출력 바이패스 회로는 손상된 옵티마이저 주변의 스트링 전류에 병렬 경로를 제공합니다. **그림 2**에서는 PV 패널 중 하나가 파손될 때 바이패스 기능이 어떻게 작동하는지 보여줍니다.

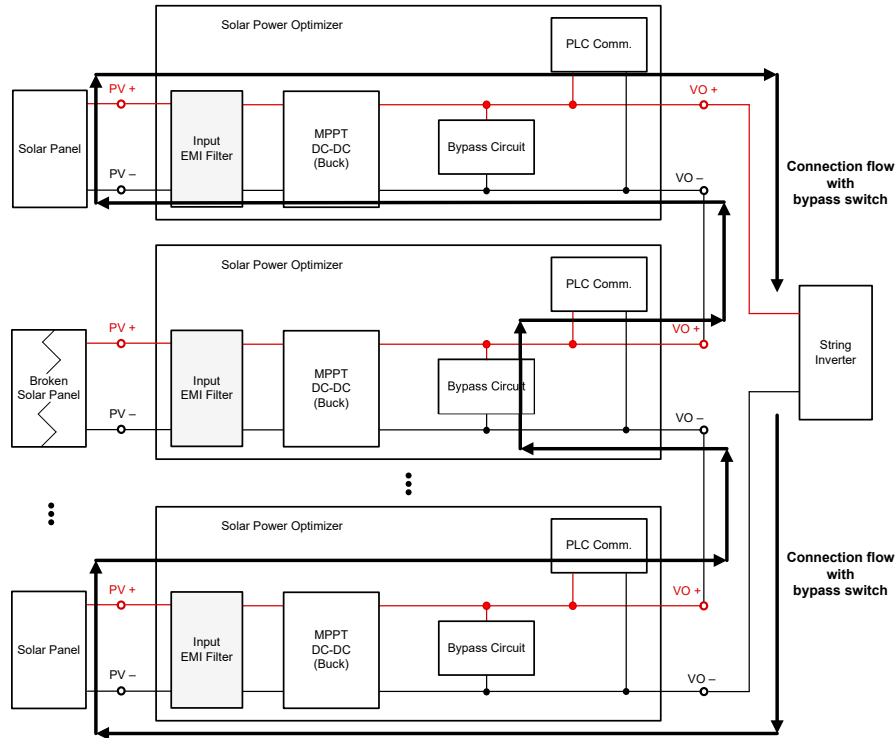


그림 2. 태양광 전력 옵티마이저의 출력 바이패스 접합부.

### 출력 바이패스 회로 솔루션

일반적으로 바이패스 회로를 위한 솔루션은 두 가지 종류가 있습니다. **그림 3**에 나와 있는 것처럼 P-N 접합부 다이오드 또는 쇼트키 다이오드를 사용하여 바이패스 기능을 달성하는 일반적인 방법입니다. 저렴하고 사용이 간편하며 선택한 다이오드에 따라 매우 높은 역전압을 달성할 수 있습니다. 그러나 높은 순방향 전압 강하(0.5V~1V)와 같은 단점이 있으며, 이는 전력 손실이 높아지고 인쇄 회로 보드 요구 사항이 커집니다. 바이패스 다이오드 솔루션의 단점을 극복하기 위해 전압 강하가 훨씬 낮고 전력 손실이 적은 ( $R_{DS(on)}$ 이 낮기 때문에) N채널 MOSFET을 사용하는 것이 대안이 될 수 있습니다. 그러나 몇 가지 단점이 있습니다.

- MOSFET은 독립형 솔루션이 아닙니다. MOSFET을 스위치로 작동하려면 제어 회로가 필요합니다. 일반적으로 개별 MOSFET 드라이버 회로를 갖춘 마이크로컨트롤러(MCU)입니다.
- MCU에는 PV 패널의 전원이 필요합니다. 따라서 PV 패널이 심하게 손상되거나 어두운 그림자나 음영으로 완전히 가려지는 경우 MCU가 작동하지 않고 MOSFET가 켜질 수 없습니다.
- MCU에 고장이 발생할 경우 MOSFET을 켤 수 없으며, 바이패스 경로는 MOSFET의 바디 다이오드를 통해 이루어집니다. 그러나 MOSFET의 바디 다이오드는 큰 전류를 견딜 수 없으며 화재의 위험이 있는 높은 수준의 열이 누적됩니다.

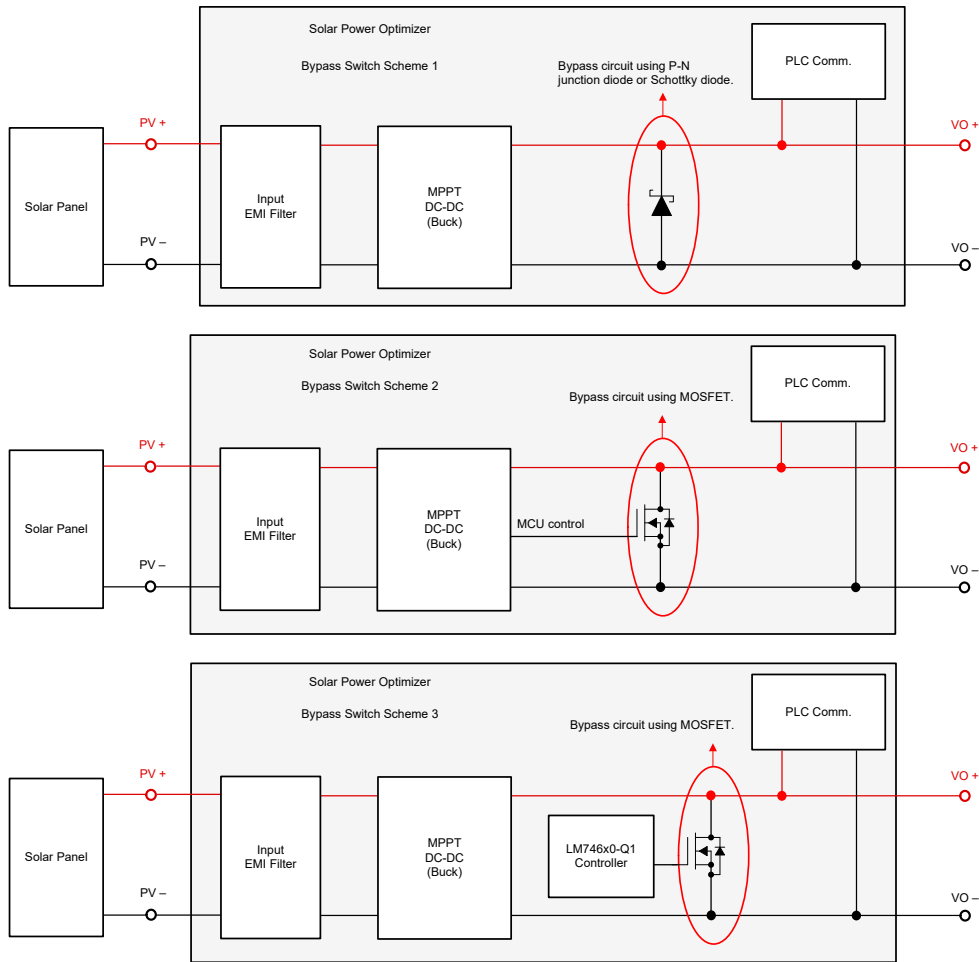


그림 3. 태양광 옵티마이저에서 바이패스 스위치를 사용할 때 일반적인 솔루션.

MCU 기반 온 또는 오프 제어 체계의 단점을 해결하는 지능형 방법은 외부 개입 없이 자율적으로 작동할 수 있는 독립형 MOSFET 컨트롤러를 사용하는 것입니다. 텍사스 인스트루먼트의 부동 게이트 이상적 다이오드 컨트롤러인 **LM74610-Q1** 제품군은 직렬 다이오드 동작을 에뮬레이션하기 위해 외부 N채널 MOSFET를 제어하여 독립형 저손실 바이패스 스위치 솔루션을 제공합니다. 이러한 컨트롤러에는 MOSFET의 바디 다이오드 순방향 강하(약 0.5V)의 낮은 입력 전압으로 작동할 수 있는 부동 게이트 드라이브 아키텍처가 있습니다.

그러나 태양광 인버터 전력 수준이 높아지고 고전압 PV 패널이 채택됨에 따라 바이패스 회로는 기존 솔루션보다 더 나은 솔루션을 만들기 위한 몇 가지 요구 사항이 있습니다. 여러 플랫폼에 걸쳐 확장하려면 20V~150V의 PV 패널 전

압과 연동되어야 하며, 다른 회로와는 독립적이어야 합니다.

## 저전압 이상적 다이오드 컨트롤러를 사용하는 확장 가능한 바이패스 스위치 솔루션

바이패스 회로 솔루션은 플로팅 게이트 드라이브 아키텍처(예: **LM74610-Q1**)가 있는 이상적인 다이오드 컨트롤러를 사용하여 외부 MOSFET을 구동하고 바이패스 회로로 이상적인 다이오드를 에뮬레이션하여 다른 회로와 독립적으로 사용합니다. 게이트 드라이브가 접지를 기준으로 하지 않으므로 부동 게이트 드라이브 아키텍처는 범용 입력 범위를 달성할 수 있습니다. 또한 이 방식의 특이한 장점은 접지를 참조하지 않으므로 정동작 전류가 0이라는 점입니다.

태양광 패널과 태양광 장비가 정상적으로 작동하면 바이패스 MOSFET이 꺼지고 최대 패널 전압과 동일한 역전압이 이상적 다이오드 컨트롤러의 음극에서 양극 핀까지 나타납니다. 그러나 이상적 다이오드 컨트롤러의 음극에서 양극 핀까지의 역전압( $V_{PV-}$  to  $V_{PV+}$ )은 PV 패널과 스트링 과도 전압만큼 매우 높을 수 있습니다. PV 패널이 매우 큰 입력 전압 범위와 직렬로 사용되는 경우 바이패스 회로의 최대 입력 전압 범위를 설계하는 것이 어려울 수 있습니다. **LM74610-Q1**의 최대 역전압은 45V 과도 전압으로 제한됩니다. 따라서 현재 사용 가능한 이상적 다이오드 컨트롤러 장치는 정격 입력 전압이 80V 또는 125V인 태양광 패널에는 적합하지 않습니다.

이상적인 다이오드 컨트롤러의 역전압 범위를 확장하기 위해 감지 경로에 디플리션 MOSFET  $Q_D$ 를 추가하면 **그림 4**에 나와 있는 것처럼 모든 범위에서 이 전압 레벨을 유지할 수 있습니다.  $Q_D$ 의 드레인은 출력  $PV+$ 에 연결됩니다. 소스가 음극에 연결되고 게이트는 이상적 다이오드 컨트롤러의 양극에 연결됩니다.

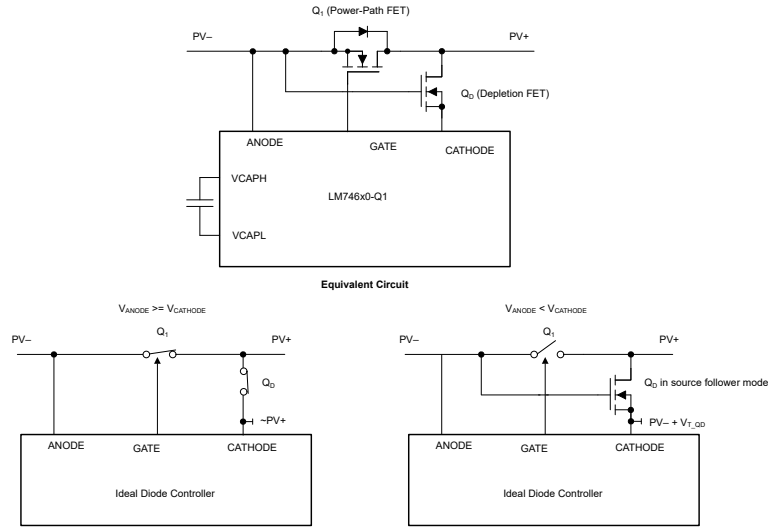


그림 4. 확장 가능한 바이패스 스위치 솔루션.

### LM74610-Q1 역전압 범위 확장의 작동 원리

$V_{GS}$ 가 MOSFET의 임계값 전압보다 커야 하는 향상된 모드 MOSFET과 달리 MOSFET  $V_{GS}$ 가 0V일 때는 디플리션 모드 MOSFET이 기본적으로 켜져 있습니다. 디플리션 MOSFET을 끄려면  $V_{GS}$ 가 0V 미만이어야 합니다(일반적인 범위는  $-1V \sim -4V$ ). 이상적인 다이오드 감지 경로에서 디플리션 모드 MOSFET의 영향을 분석하기 위해 다음 조건에서의 장치 작동을 살펴보겠습니다.

- $V_{PV-} \geq V_{PV+}$ 일 때: 이상적인 다이오드 컨트롤러는 순방향 상태 모드에 있어 전력 MOSFET  $Q_1$ 과 디플리션 FET  $Q_D$ 를 모두 켭니다. 이러한 작동 조건을 사용하면  $V_{PV+}$ 와 유사한  $V_{OUT} = V_{IN} - (I_{D,Q1} R_{DS(on),Q1})$ 로 출력 전압을 계산할 수 있습니다.
- $V_{PV-} < V_{PV+}$ 일 때: 이상적인 다이오드 컨트롤러는 역전류 차단 조건에 있고 MOSFET  $Q_1$ 이 꺼집니다. MOSFET  $Q_D$ 는 소스 팔로어로서 조정 모드에 있고,  $V_{CATHODE}$ 를  $V_{ANODE}$  이상으로 유지하고  $V_{CATHODE} = V_{IN}(V_{ANODE}) + (V_{GSMAX})$ 를 유지합니다. 따라서  $V_{CATHODE}$ 에서  $V_{ANODE}$ 에 걸친 전압은  $Q_D$ 의 절대 최대 정격  $V_{GSMAX}$ (일반적으로 5V 미만) 이내이며, 이는 LM74610-Q1의 최대 과도 전압인 45V보다 훨씬 낮습니다. 높은 역전압( $V_{OUT} - V_{IN}$ )은  $Q_D$  및  $Q_1$ 의 드레인-소스 전압( $V_{DS}$ )에 의해 유지됩니다.

올바른 디플리션 MOSFET 및 전원 MOSFET을 선택하는 것은 다음 사항에 따라 달라집니다.

- 최대 피크 입력 전압보다 큰  $Q_1$  및  $Q_D$  의  $V_{DS}$  등급을 선택합니다.
- 전원 경로 MOSFET의 손실이 가장 낮도록  $R_{DS(on)}$ 를 선택합니다. FET의 드레인 전류( $I_D$ )는 출력 부하에서 요구하는 최대 피크 전류보다 높아야 합니다. 최대 부하 전류에서 전력 MOSFET에서 50mV~100mV의 강하로 디플리션 MOSFET을 선택하는 것이 좋은 출발점입니다.
- $R_{DS(ON)}$ 는 수백 옴 범위에 있을 수 있습니다(LM74610-Q1의 부동 게이트 드라이브 아키텍처는 음극 핀-접지에 대한 큰 임피던스를 가지고 있으며, 컨트롤러의  $I_{CATHODE}$ 는 마이크로 암페어 범위에 있습니다).

그림 5에서는 40V LM74610-Q1 컨트롤러를 사용한 60V 바이패스 스위치 솔루션의 테스트 결과를 보여줍니다.

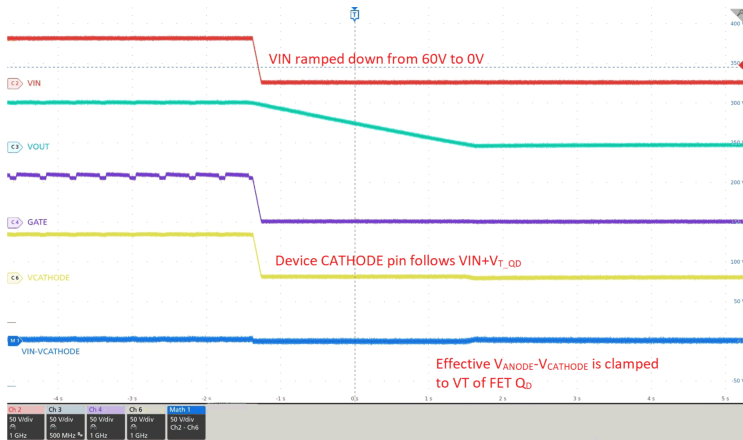


그림 5. LM74610-Q1 및 디플리션 MOSFET을 사용한 60V 바이패스 회로에 대한 테스트 결과.

적절하게 스케일링된 MOSFET( $Q_1$  및  $Q_D$ )을 사용하면 입력 전압 범위는 FET의  $V_{DS}$  정격까지 확장할 수 있습니다. 따라서 동일한 저전압 컨트롤러를 사용하는 고전압 설계가 가능합니다. 또한 입력 전압 범위를 확장하면 엔터프라이즈, 통신, 전원 톨 및 고전압 배터리 관리 애플리케이션에서도 유용할 수 있습니다.

## 결론

직렬로 연결된 PV 패널 또는 태양광 장비가 파손되거나 결함이 있는 경우 핫스팟 및/또는 전압 공급 중단을 방지할

수 있는 설계를 마련하는 것이 중요합니다. 이러한 책임은 일반적으로 태양광 전력 옵티마이저 또는 신속 셋다운에 있습니다. 표준 정류기 다이오드 또는 쇼트키 다이오드는 손상된 패널을 바이패스할 수 있는 가장 간단한 솔루션이지만 열 비효율성으로 인해 선호되지 않습니다. 플로팅 게이트 이상적인 다이오드 컨트롤러와 N 채널 MOSFET은 바이패스 스위치 솔루션보다 독립형 손실이 적고, 디플리션 MOSFET을 사용한 추가 시스템 해결 방법을 통해 태양광 패널의 넓은 입력 전압 범위를 해결할 수 있는 완벽한 확장형 솔루션을 제공합니다.

## 추가 리소스

- LM74610-Q1 제로 IQ 역방향 극성 보호 스마트 다이오드 컨트롤러 데이터시트

**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