

Technical Article

서버용 전원 공급 장치 설계의 5가지 주요 동향



Richard Yin

서버는 데이터 통신을 처리하는 데 필수적이기 때문에 서버 업계는 인터넷과 동시에 기하급수적으로 성장했습니다. 서버 유닛은 원래 PC 아키텍처를 기반으로 했지만 서버 시스템은 증가하는 네트워크 호스트의 수와 복잡성을 처리할 수 있어야 합니다.

그림 1에서는 데이터 센터의 일반적인 랙 서버 시스템과 서버 시스템의 블록 다이어그램을 보여 줍니다. PSU(전원 공급 장치)는 서버 시스템의 핵심이며, 복잡한 시스템 아키텍처가 필요합니다. 이 문서에서는 전력 예산, 이중화, 효율성, 작동 온도, 통신 및 제어의 5가지 서버 PSU 설계 추세를 살펴봅니다.

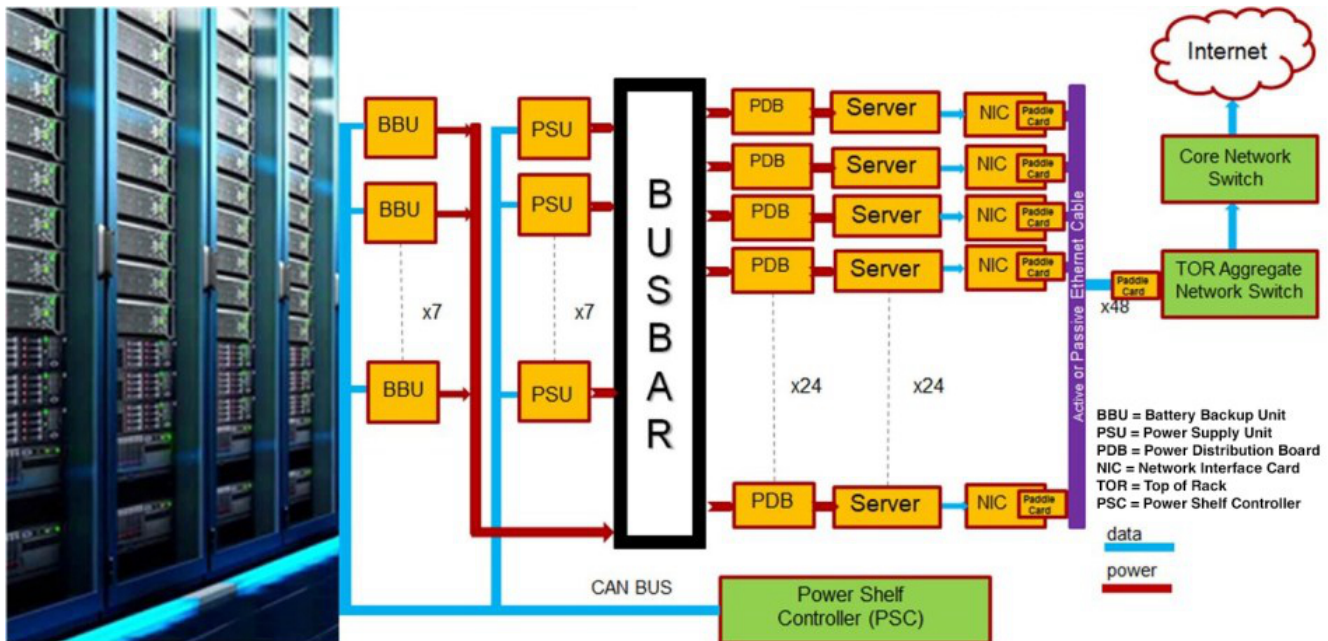


그림 1. 서버 시스템 블록 다이어그램과 서버가 데이터 센터에 배치되는 방식. 출처: 텍사스 인스트루먼트

추세 1번: 전력 예산

21세기 초 랙 또는 블레이드 서버 PSU의 전력 예산은 200W~300W 범위였습니다. 당시 CPU(중앙 처리 장치)당 전력 소비량은 30W~50W 범위였습니다. 그림 2에는 CPU 소비 전력 추세가 나와 있습니다.

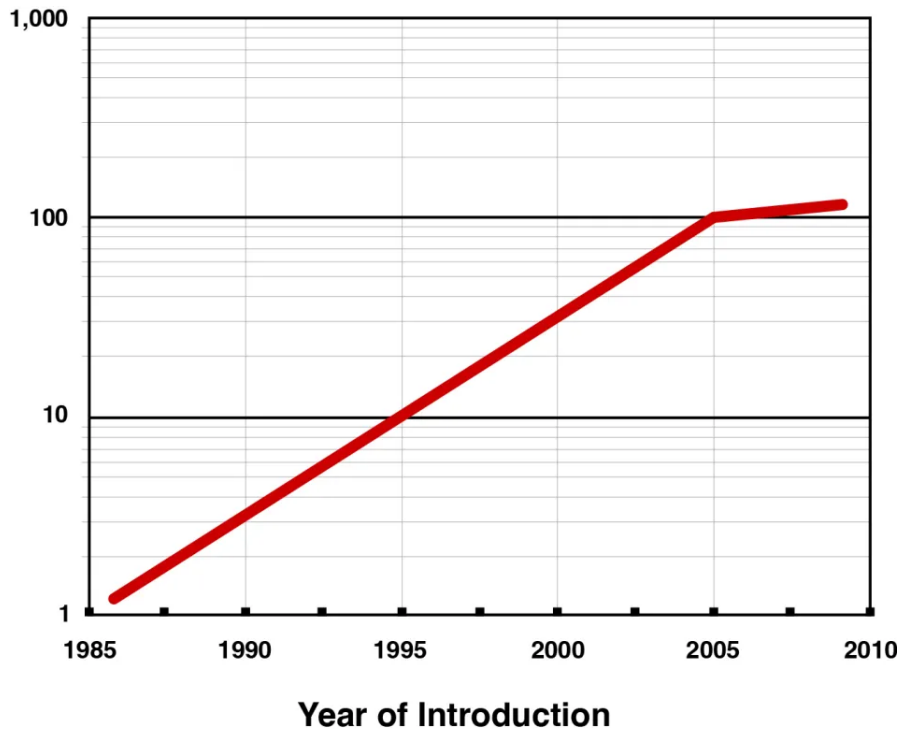


그림 2. 21세기 초의 CPU 소비 전력 추세.

오늘날 서버 CPU의 전력 소비량은 약 200W이며 열 설계 전력은 300W에 가까워 서버 PSU의 전력 예산은 800W~2,000W 범위로 크게 증가합니다. 클라우드 컴퓨팅 및 인터넷상의 인공 지능(AI) 계산 등 점점 더 많은 서버 연산 요구 사항을 지원하기 위해 서버는 CPU와 함께 작동하는 그래픽 처리 장치(GPU)를 포함할 수 있습니다. 이러한 포함으로 인해 5년 이내에 서버의 전력 수요가 3,000W를 넘을 수 있습니다. 그러나 대부분의 랙 또는 블레이드 서버 PSU는 여전히 최대 16A 전류 등급의 AC 인렛을 사용하고 있기 때문에 전력 예산이 제한적입니다. 즉, 240V_{AC} 입력에서 약 3,600W로 컨버터 효율을 나타냅니다. 따라서 3,600W는 단기적으로 서버 랙 PSU의 전원 제한입니다.

데이터센터 전원 셀프의 경우 서버 PSU 설계자는 20A 정격 전류의 IEC(국제전기기술위원회) 60320 C20 AC 인렛을 널리 적용합니다. PSU 전력 예산은 AC 입력 전류 정격에 의해 제한되며, 이는 오늘날의 데이터 센터 PSU에서 약 3,000W를 허용합니다. 그러나 가까운 미래에 데이터 센터 PSU의 전력 수준은 5,000W로 증가할 수 있습니다. PSU당 더 높은 전력 예산을 허용하고 더 높은 전력 밀도를 달성하기 위해 AC 인렛에 버스 바를 사용하여 입력 전류 등급을 높일 수도 있습니다.

추세 2번: 이중화

서버 시스템에서 신뢰성과 가용성의 중요성에 따라 예비 PSU가 필요합니다. 하나 이상의 PSU에 장애가 발생하면 시스템의 다른 PSU가 대신하여 에너지를 공급할 수 있습니다.

단순 서버 시스템은 1+1 중복성을 가질 수 있습니다. 즉, 시스템에 활성 PSU와 중복 PSU가 한 개 있습니다. 복잡한 서버 시스템에는 시스템 안정성과 비용 고려 사항에 따라 N+1 또는 N+N(N>2) 중복성이 있을 수 있습니다. PSU를 교체해야 할 때 시스템이 정상적으로 작동되도록 하려면 핫 스왑(오링 제어) 기술이 필요합니다. 또한 여러 PSU가 N+1 또는 N+N 시스템에서 동시에 전원을 공급하므로 서버 PSU에는 전류 공유 기술도 필요합니다.

대기 모드에 있는 PSU(주 전원 레일의 출력으로 전원을 공급하지 않음)조차도 핫 스왑 후 즉시 전체 전력을 공급해야 하므로 전력계를 지속적으로 활성화해야 합니다. 대기 모드에서 중복 전원 공급 장치의 전력 소비를 줄이기 위해 "콜드 이중화" 기능이 추세가 되고 있습니다. 콜드 이중화의 목적은 주 전원 작동을 종료하거나 버스트 모드로 작동하여 예비 PSU가 대기 전력 소비를 최소화할 수 있도록 하는 것입니다.

추세 3번: 효율성

2000년대 초반의 효율성 사양은 65%를 조금 넘었습니다. 당시 서버 PSU 설계자는 효율을 우선시하지 않았습니다. 기존의 컨버터 토폴로지는 65% 효율 목표를 손쉽게 충족할 수 있습니다. 그러나 서버가 지속적으로 작동해야 하기 때문에 효율성이 높아지면 총 소유 비용이 크게 절감됩니다.

2004년부터 80 Plus 표준은 80% 이상의 효율성을 달성할 수 있는 PC 및 서버 PSU 시스템에 대한 인증을 제공했습니다. 오늘날 양산 중인 서버 PSU는 80 Plus 골드(>92% 효율) 요구 사항을 대부분 충족하며, 일부는 80 Plus 플래티넘(>94% 효율)을 달성할 수도 있습니다.

현재 개발 중인 서버 PSU는 주로 절반 부하에서 96% 이상의 피크 효율을 요구하는 더 높은 80 Plus 티타늄 사양을 목표로 합니다. 표 1에는 다양한 80 Plus 사양이 나와 있습니다.

표 1. 80 Plus 사양은 80% 이상의 효율을 보장합니다.

230 V internal redundant				
	10%	20%	50%	100%
80 Plus				
80 Plus Bronze		81%	85%	81%
80 Plus Silver		85%	89%	85%
80 Plus Gold		88%	92%	88%
80 Plus Platinum		90%	94%	91%
80 Plus Titanium	90%	94%	96%	91%

또한 데이터 센터 PSU가 따르는 OCP(Open Compute Project) 오픈 랙 사양에 따르면 PSU는 97.5% 이상의 최대 효율을 달성해야 합니다. 따라서 브리지리스 PFC(역률 보정) 및 소프트 스위칭 컨버터와 같은 새로운 토폴로지는 SiC(실리콘 카바이드) 및 GaN(질화 갈륨)과 같은 광범위한 밴드갭 기술과 함께 PSU가 80 Plus 티타늄 및 개방형 컴퓨팅 효율성 목표를 달성하는 데 도움이 될 수 있습니다.

추세 4번: 작동 온도

서버 PSU 열 관리의 맥락에서 설계자는 팬이 서버 PSU 작동 온도로 위치한 PSU AC 입력구의 주변 온도를 정의합니다. 작동 온도는 2000년대 초반 최대 45°C에서 시작되었으며 현재 서버 랙의 냉각 시스템에 따라 최대 55°C에 도달합니다.

작동 온도가 높을수록 서버 냉각 시스템의 에너지 비용이 늘어납니다. 데이터 센터(하드웨어 장비 등)의 자본 지출에 비해 운영 비용으로서 에너지 비용은 시간이 지남에 따라 자본 지출보다 높을 것으로 예상됩니다. PUE(Power Usage Effectency) 표준에 따름:

$PUE = \text{총 데이터 센터 전력} / \text{실제 IT 전력}$

표 2에 나와 있는 것처럼 PUE 수치가 낮을수록 데이터 센터가 효율적입니다. 그림 3는 작동 온도가 다른 PUE 수치를 추정합니다. 예를 들어, PUE 1.25의 데이터 센터는 냉각 시스템에서 전체 전력 소비량의 10%만 허용할 수 있습니다. 이는 서버 PSU에서 더 높은 작동 온도가 필요하다는 것을 의미합니다.

표 2. PUE 수가 낮을수록 데이터 센터가 효율적입니다.

PUE	Level of Efficiency
1.25	Very Efficient
1.5	Efficient
2	Average
2.5	Inefficient
3	Very Inefficient

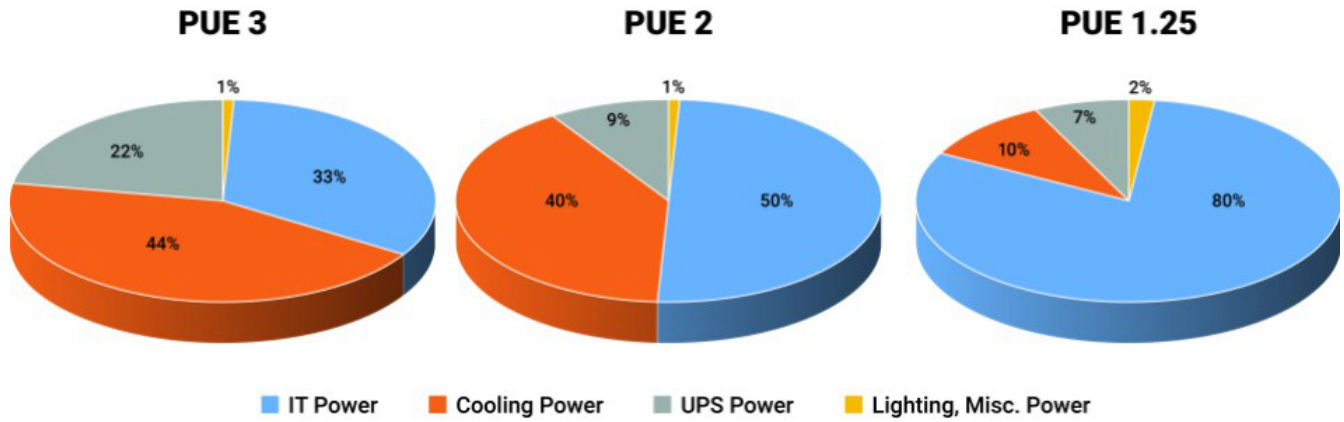


그림 3. 다른 작동 온도에서 PUE 수치를 추정하면 높은 작동 온도로 냉각 비용이 감소하는 것을 알 수 있습니다.

추세 5번 커뮤니케이션 및 제어

통신과 제어는 수년 동안 서버 전원에서 중요한 역할을 했습니다. 2000년대 초반에는 PSU의 내부 정보가 시스템 관리 버스 인터페이스를 통해 시스템 측으로 전송되었습니다. 2007년 PMBus(Power Management Bus) 인터페이스는 구성, 제어, 모니터링 및 고장 관리, 입력/출력 전류 및 전원, 보드 온도, 팬 속도 제어, 실시간 업데이트 코드, 과전압(전류, 온도) 및 보호를 제공합니다. 그런 다음 데이터 센터 전원 셀프에 대한 수요 증가로 CAN(컨트롤러 영역 네트워크) 버스가 서버 전력 통신의 일부가 되었습니다.

전원 관리 컨트롤러도 통신 버스와 함께 진화했습니다. 2000년대 초반에 아날로그 컨트롤러는 주로 서버 PSU를 제어했습니다. 점점 더 많은 제어 요구로 인해 통신의 필요성이 증가함에 따라 디지털 컨트롤러를 사용하면 이러한 요구를 더 쉽게 실현할 수 있게 되었습니다. 또한 디지털 제어를 사용하면 하드웨어 엔지니어의 디버깅 노력을 줄여 PSU 설계 및 검증 단계에서 인건비를 절감할 수 있습니다.

서버 PSU를 위한 향후 개발 추세

부륨이 고정되어 있는 동안 서버 전력 예산이 증가함에 따라 전력 밀도 요구 사항이 더욱 엄격해질 것입니다. 전력 밀도는 2000년대 초반에 단일 자릿수에서 새로 개발된 서버 PSU의 거의 100W/in³으로 증가했습니다. 토폴로지와 부품 기술 혁신을 통해 컨버터 효율 개선은 높은 전력 밀도를 달성하는 솔루션입니다.

전류, 전력 및 효율성 추세의 경우처럼 이상적인 다이오드/오링 컨트롤러는 작은 패키지에 높은 전류를 제공해야 합니다. 이상적인 다이오드/오링 컨트롤러는 모니터링, 고장 처리 및 과도 처리 같은 기능을 통합하여 이러한 기능을 달성하는 데 필요한 전체 부품 수와 PCB 영역을 줄여야 합니다.

예를 들어 서버 PSU의 PFC 회로는 패시브 PFC에서 액티브 브리지 PFC로 발전하여 능동 브리지리스 PFC로 발전했습니다. 절연 DC/DC 컨버터는 하드 스위칭 플라이백 및 순방향 컨버터에서 소프트 스위칭 인덕터-인덕터-커패시터 공진 및 위상 전환 풀 브리지 컨버터로 진화했습니다. 비절연 DC/DC 컨버터는 선형 레귤레이터 및 자기 증폭기에서 동기 정류기를 사용하는 벅 컨버터로 진화했습니다. 결과적으로 전반적인 효율성이 향상되어 내부 전력 소비와 열 문제를 해결하는 데 필요한 노력이 줄어듭니다.

서버 PSU에 적용되는 구성 요소 기술은 IGBT와 실리콘 MOSFET부터 실리콘 카바이드 MOSFET, 질화 갈륨 FET와 같은 광범위한 밴드갭 장치로 진화했습니다. IGBT와 실리콘 MOSFET의 비이상적인 스위칭 특성은 스위칭 주파수를 200kHz 미만으로 제한합니다. 넓은 밴드갭 장치의 스위칭 특성이 이상적인 스위치에 더 가깝지만, 넓은 밴드갭 장치를 사용하면 더 높은 스위칭 주파수를 가능하게 하여 PSU에 사용되는 자기 부품 수를 줄일 수 있습니다.

작동 온도가 증가함에 따라 서버 PSU의 구성 요소는 높은 열 응력을 처리해야 하며, 이는 또한 회로 진화를 촉진합니다. 예를 들어 기존의 구현에서는 저항기와 병렬로 기계적 릴레이를 적용하여 시작 시 입력 돌입 전류를 억제합니다. 하지만 크기가 크고, 신뢰성 문제가 낮고 온도 등급이 낮기 때문에 솔리드 스테이트 릴레이가 이제 서버 PSU의 기계 릴레이를 대체하고 있습니다.

>180W/in³의 전력 밀도와 >270W/in³의 전력 밀도를 지원하는 3.6kW 단상 토폴 풀 브리지리스 PFC 설계는 서버(그림 4)의 일반적인 중복 전원 공급 장치 사양을 충족하는 것을 목표로 합니다.

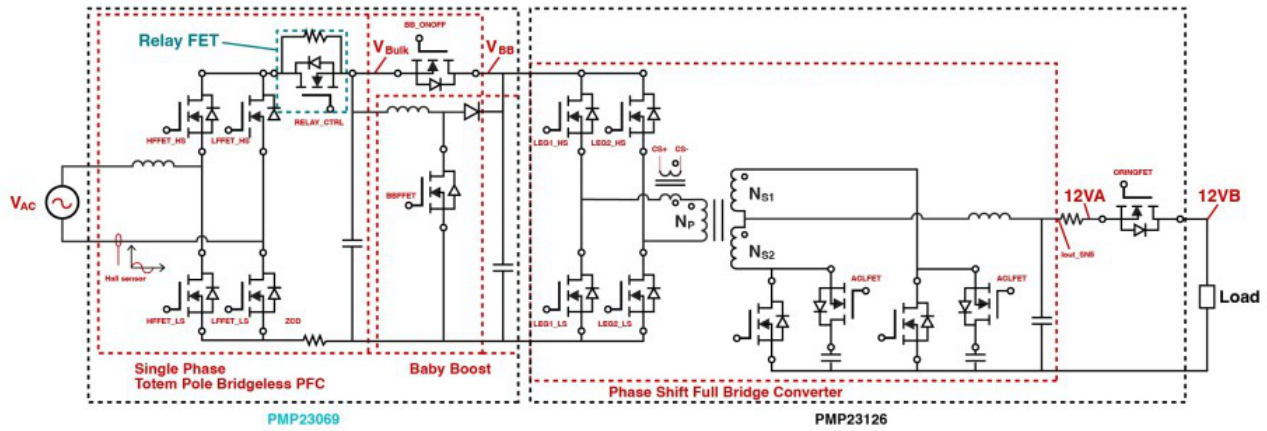


그림 4. 블록 다이어그램은 3.6kW 및 3kW 레퍼런스 설계를 보여줍니다. 출처: 텍사스 인스트루먼트

3.6kW PFC 설계에서 슬리드 스테이트 릴레이가 높은 작동 온도를 수용합니다. 여기서 **LMG3522R030** GaN FET는 브리지리스 토렘폴 PFC 토폴로지를 사용할 수 있게 해줍니다. "베이비 부스트"는 벌크 커패시터 볼륨을 줄여 전력 밀도를 높일 수 있습니다.

3kW 위상 전환 풀 브리지 설계에서 **LMG3522R030** GaN FET는 순환 전류를 낮추고 소프트 스위칭을 가능하게 합니다. 무손실 스너버 역할을 하는 능동 클램핑 회로는 더 낮은 동기 정류기 전압 응력으로 더 높은 컨버터 효율을 지원합니다. 앞서 언급한 모든 제어 요구 사항은 디지털 제어 프로세서 역할을 하는 C2000™ 마이크로컨트롤러를 통해 달성할 수 있습니다.

관련 콘텐츠

- 서버 전력 효율에 대한 탐구
- GaN, MCU 공급 데이터 센터 전원
- Facebook, 데이터 센터, 서버 설계 오픈
- 서버에 대한 중복 전원 기술 설명
- 효율 향상을 위한 데이터 센터 차세대 전원 공급 솔루션

이전에 [EDN.com](https://www.edn.com)에 게시됨 .

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.com에서 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 제안할 수 있는 추가 또는 기타 조건을 반대하거나 거부합니다.

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

Copyright © 2024, 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