

Technical Article

AI의 엄청난 전원 요구 사항에 부응하기 위한 데이터 센터의 진화

Brent McDonald, systems and applications engineer, Texas Instruments



대규모 언어 모델이 사람들이 데이터에 액세스하는 방식을 혁신함에 따라, AI(인공 지능)의 발전은 업계와 사회에서 데이터 센터 컴퓨팅 리소스를 활용하는 방식을 재편하고 있습니다. 이제는 검색 엔진에 특정 키워드를 입력하는 것이 아니라, 사람에게 질문하는 것과 비슷하게 AI에게 질문하면 상세한 응답을 받게 되는 시점에 도달한 것입니다. 물론, 이것은 AI가 할 수 있는 일의 극히 일부분에 불과합니다. AI는 코드를 작성하고, 그림과 영상을 생성하며, 회의 내용을 기록하고 요약하기도 합니다. 이 모든 AI 기능을 사용하려면 전력을 대폭 늘려야 합니다.

이렇게 많은 전력을 제공하고 AI가 잠재력을 최대한 발휘하도록 하려면, 데이터 센터에서 IT 서버 랙이 구성되는 방식과 그러한 전력을 확보하고 공급하는 최선의 방법을 재구상해야 합니다. 이 글에서는 컴퓨팅을 수행하는 서버 기능에 데이터 센터 전력을 확보하고 공급하는 방법, 급속하게 진화하는 AI 컴퓨팅과 전력 요구 사항을 충족하기 위해 전력 분배 아키텍처를 변경해야 하는 이유, 그리고 이를 실현하는 방법을 살펴보겠습니다.

그림 1에서는 IT 서버 랙 수준의 전력 요구 사항이 시간에 따라 어떻게 변화하는지 보여줍니다. **그림 1**에서는 2028년이 되면 IT 랙 하나에 필요한 전력이 1.5MW일 것으로 예상하는데, 이는 현재 서버 랙이 사용 중인 전력보다 10배 많은 양입니다.

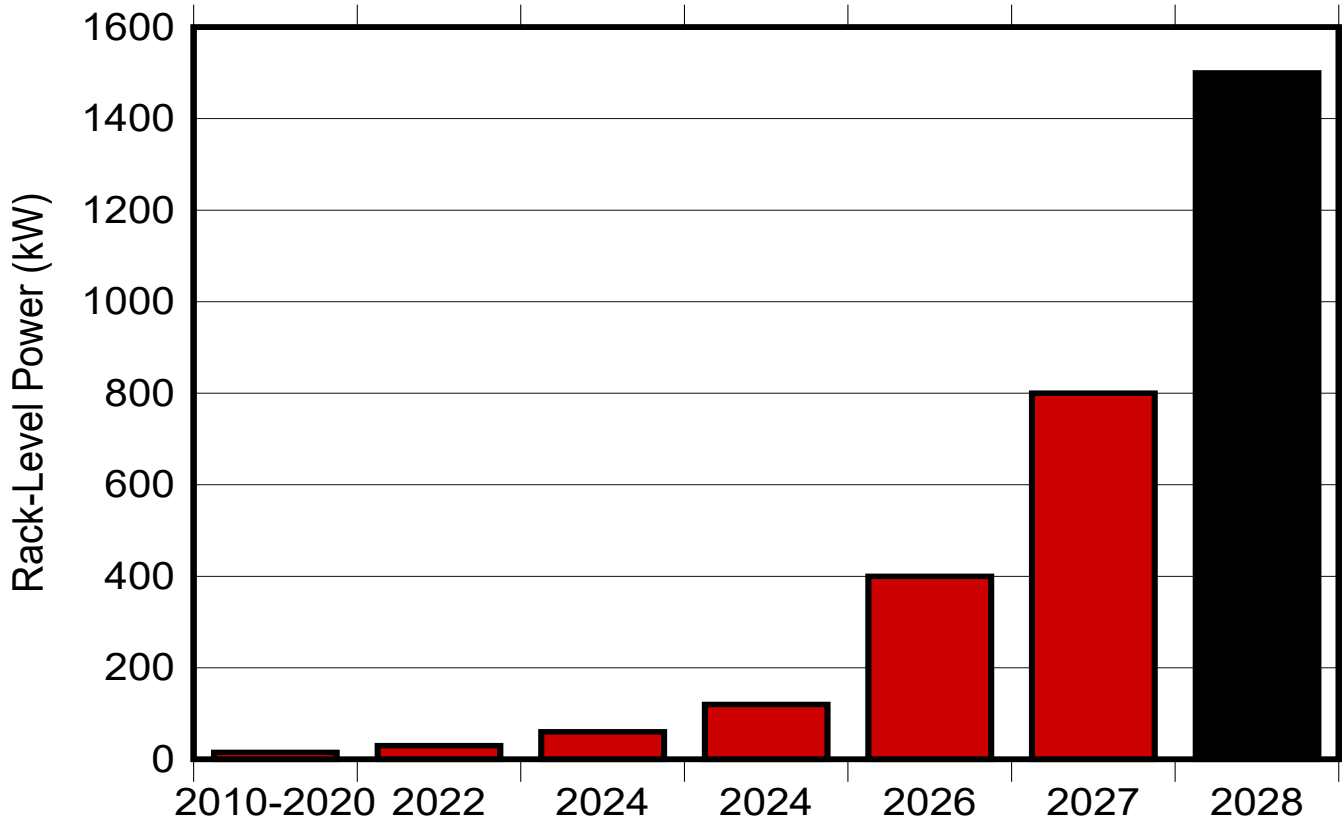


그림 1. 랙 수준 전력 요구 사항

간략한 역사

데이터 센터와 서버 내부의 전력 공급 네트워크에서 일어나고 있는 변화의 규모를 충분히 파악하기 위해, 현재의 아키텍처를 간략히 살펴보겠습니다. 그림 2에서는 1990년대부터 현재까지 서버와 데이터 센터를 지배해 온 1세대 전력 분배 아키텍처를 보여줍니다. 그림 2의 왼쪽 상단 영역은 AC 전력 그리드에서 유입되는 3상 AC 전원을 보여줍니다. 이 전력은 약 13kV의 "중 간 전압"에서 AC 라인 간 전압인 480V로 변환됩니다. UPS(무정전 전원 공급 장치)가 이 전압을 버퍼링합니다.

AC 그리드의 전원이 차단되면, UPS는 로컬 배터리와 인버터 기능을 사용하여 백업 발전기가 작동을 시작할 때까지 데이터 센터 서버들의 작동을 유지하며, 이때 ATS(자동 전환 스위치) 또는 STS(정적 전환 스위치)를 사용합니다. 480V 라인 간 AC 전압은 277V_{AC} 라인-중립 전압에 상응합니다.

IT 서버 랙에 277V_{AC}의 3상 전력이 공급되면, PSU(전원 공급 장치)가 PFC(역률 보정)를 수행하고 서버 IT 트레이에 분배할 안정화된 12V 출력을 생성합니다. 1세대 아키텍처의 12V 배전 전압은 다양한 부하, 전압 레귤레이터, 그리고 기타 PoL(부하 점) 레귤레이터에 전원을 공급하며, 이들이 서버 트레이 전체에서 사용되는 프로세서, 메모리, 통신 집적 회로용 전압을 생성합니다. 이 아키텍처는 총 랙 전력이 10kW~20kW인 경우에 효과적이었습니다. 하지만 더 많은 컴퓨팅 파워에 대한 수요가 늘어나면서, 이러한 컴퓨팅 기능에 필요한 전력도 증가했습니다.

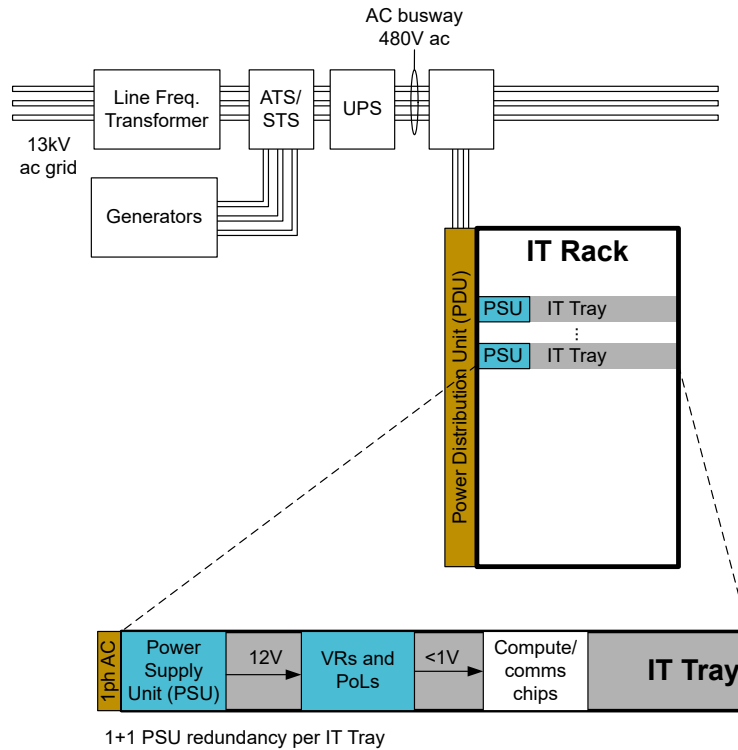


그림 2. 1세대 기준 랙 서버

그림 3에서는 데이터 센터 전력 분배 아키텍처의 다음 진화 단계를 보여줍니다. 그림 3의 왼쪽 상단 영역에서 시작해, 이 아키텍처는 동일한 중전압 입력 전원 공급부터 시작합니다. 1세대 아키텍처와 마찬가지로, 변압기가 3상 13kV를 480V_{AC} 라인 간 전압으로 변환합니다. 이 아키텍처는 UPS를 사용하지 않고, 대신 동급의 277V_{AC} 라인-중립 전압을 IT 랙 내부의 로컬 PSU로 직접 보냅니다. 이러한 PSU는 더 이상 각 서버 트레이 전용이 아니라, 하나의 전원 셀프에 통합되어 있습니다. 이 맥락에서 전원 셀프란 단순히 전원 공급 장치 여러 개로 구성된 셀프이며, 각 장치의 출력이 IT 장비의 공통 부하 수요를 함께 감당하는 구조를 말합니다.

각 전원 셀프에는 이중화를 실현하기 위해 N+1 구성으로 6개의 PSU가 탑재됩니다. 전원 셀프를 추가하면 IT 랙에 필요한 전체 전력이 실현됩니다. 이러한 전원 셀프의 출력은 50V_{DC} 버스로, 서버 랙 후면을 따라 배치된 고전류 버스바를 통해 각 IT 트레이로 분배됩니다. 일부 2세대 설비는 UPS 기능을 유지하지만, 다른 설비는 이를 제거하고(그림 3 참조) 로컬 BBU(배터리 백업 장치)로 대체하여 전원이 복구되거나 백업 발전기가 인계받을 때까지 50V_{DC} 버스를 계속 활성 상태로 유지하도록 합니다. 상황에 따라 커패시터 셀프나 CBU(커패시터 백업 장치)를 사용하면 전력 장애와 관련된 지나친 전압 및 전류 과도현상을 완화하거나 제거하는 데 도움이 될 수 있습니다. 각 IT 트레이 내부의 50V 버스는 로컬 중간 버스 컨버터로 전달되어, IT 트레이의 시스템 부하에 전원을 공급하는 데 필요한 12V를 생성합니다.

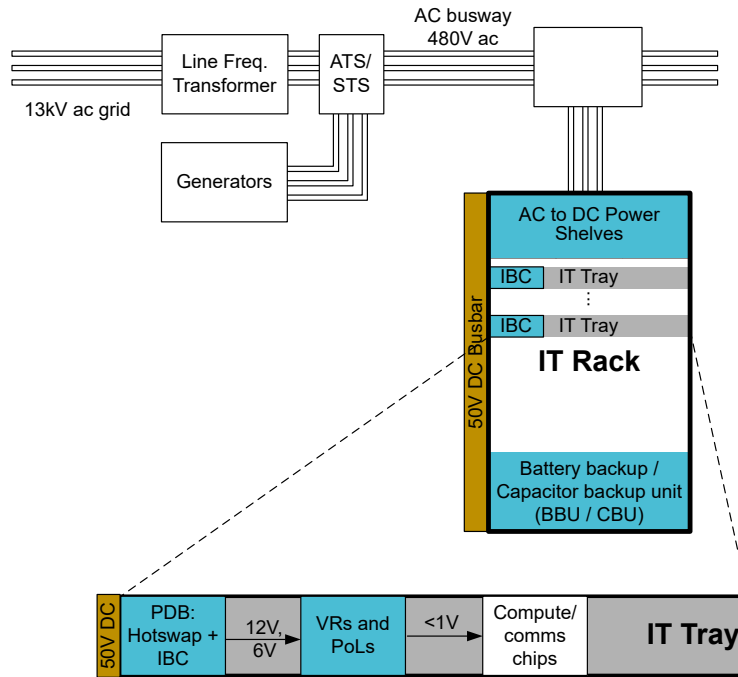


그림 3. 2세대 - 클라우드 및 AI 컴퓨팅

2세대 아키텍처는 IT 랙이 1세대에서 가능했던 수준을 넘어 더 높은 부하에 전원을 공급할 수 있도록 합니다. 2세대의 현실적인 부하 범위는 약 100kW 수준입니다. 총 요구 전력의 약 200kW 수준에 이르면 전력 분배 손실이 커지며, 그 이상으로 전력을 확장하는 것은 비현실적이 됩니다.

AI 데이터 센터 전력 공급

현재 고급 AI 모델 실행을 담당하는 데이터 센터 랙은 2028년경에는 전력 소모가 1MW를 초과할 것으로 예상됩니다. 50V 버스바를 기준으로 할 때, 2세대 아키텍처에서 이 정도 전력을 분배하려면 약 20,000A의 전류가 흐르게 됩니다. 이만큼 많은 전류를 제공하는 데 필요한 버스바는 무겁고, 비싸고, 대단히 비실용적입니다. 따라서 새로운 AI IT 서버 랙에서는 전력 분배를 위해 고전압 800V_{DC} 또는 ±400V_{DC} 버스를 사용해 고전류 버스바 요구사항을 20kA에서 1.25kA로 낮출 수 있습니다. 전류가 한 자릿수 규모로 감소함에 따라 전력 공급 전체의 효율을 높은 수준으로 유지할 수 있으며, 부피와 밀도가 더 낮은 구리 버스바를 사용할 수 있습니다. [그림 4](#)에 이 아키텍처를 표시했습니다.

2세대 아키텍처에서는 전원 셀프가 사이드카로 대체되며, 이 사이드카는 3상 480V_{AC} 그리드 전압을 입력으로 받습니다. 사이드카가 이것을 800V_{DC} 또는 ±400V_{DC} 버스로 변환하여 하나 이상의 IT 랙으로 분배합니다. 또한 이제 사이드카에 BBU도 포함됩니다. 3세대 아키텍처는 전력 분배 효율을 향상시킬 뿐만 아니라, IT 랙 내에서 컴퓨팅 기능을 위한 공간도 더 많이 확보할 수 있습니다.

어떤 면에서는 IT 서버 랙의 컴퓨팅 밀도를 높이는 것이 전력 분배 문제보다 훨씬 더 중요합니다. AI 기반 IT 랙은 수백 개의 프로세서를 사용해 AI가 최상의 기능을 발휘하는 데 필요한 계산을 빠른 속도로 처리합니다. 이러한 프로세서는 고밀도 풋프린트에서 서로 통신을 주고받을 수 있어야 합니다. IT 랙에서 전력 변환 기능의 상당 부분을 제거하면, 더 작은 공간에 더 많은 프로세서를 탑재할 수 있습니다. 이제는 랙의 각 IT 트레이가 이 800V_{DC} 또는 ±400V_{DC} 버스 전압으로 입력으로 받습니다. 그런 다음 트레이의 중간 버스 컨버터가 IT 트레이에서 해당 전압을 분배 목적으로 변환합니다. 분배 전압은 선택한 아키텍처에 따라 48V, 12V 또는 6V까지 가능합니다.

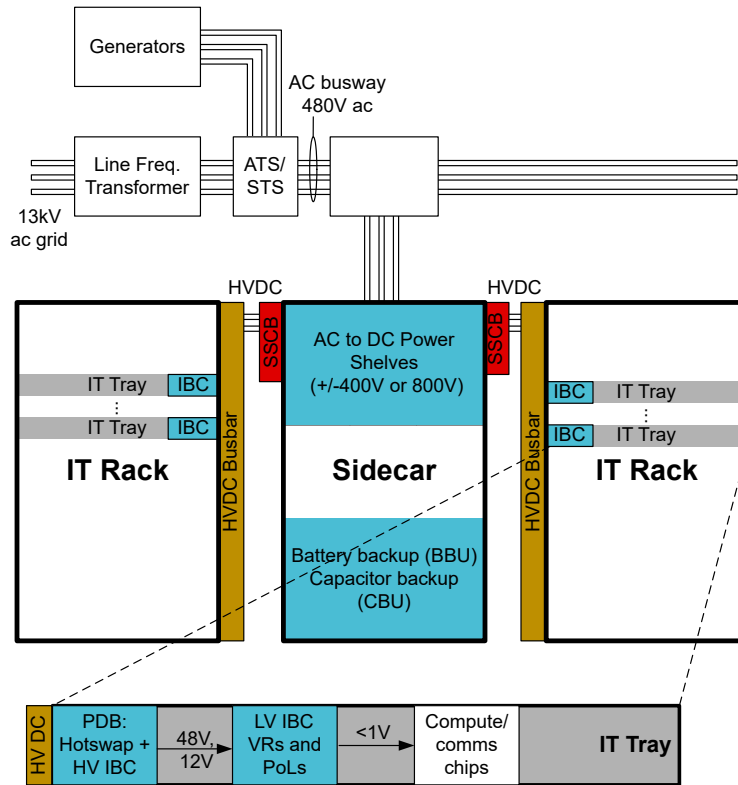


그림 4. 3세대 - AI 컴퓨팅 DC 분배 사이드카

다음 단계

3세대 아키텍처는 전력 분배 효율을 크게 개선하고 IT 랙 내부의 컴퓨팅 밀도를 대폭 높이는 데 매우 효과적이지만, 그만큼 데이터 센터의 IT 플로어에서 더 많은 공간을 차지하게 됩니다. 따라서 데이터 센터 진화의 다음 단계는 사이드카의 AC/DC 전력 변환 기능을 IT 플로어에서 유틸리티룸으로 이전하는 것입니다.

그림 5에 4세대 아키텍처를 위한 제안을 나타냈습니다. 이 아키텍처의 경우, 사이드카에 BBU 기능이 있고 AC/DC 기능은 SST(솔리드 스테이트 변압기) 안으로 옮겨졌습니다. 1, 2, 3세대 아키텍처에서는 입력 전압이 그리드가 공급한 13kV 중간 전압입니다. 이것이 3상 480V_{AC} 분배 버스로 변환된 다음, DC 분배 버스 전압으로 변환됩니다. SST가 13kV 변압기와 480V_{DC}에서 800V_{DC} 또는 ±400V_{DC}로의 전력 변환을 모두 대체합니다. SST는 단일 전력 변환 단계에서 PFC 기능, 전압 강하(스텝다운), 그리고 DC로의 변환을 모두 수행합니다. 이제 백업 발전기는 중간 전압 노드 또는 AC/DC 컨버터를 통해 SST 출력에 연결되어야 합니다. 그 결과, 전력 분배 네트워크의 효율이 향상되고, IT 플로어에서는 컴퓨팅을 위한 공간이 더 확보됩니다.

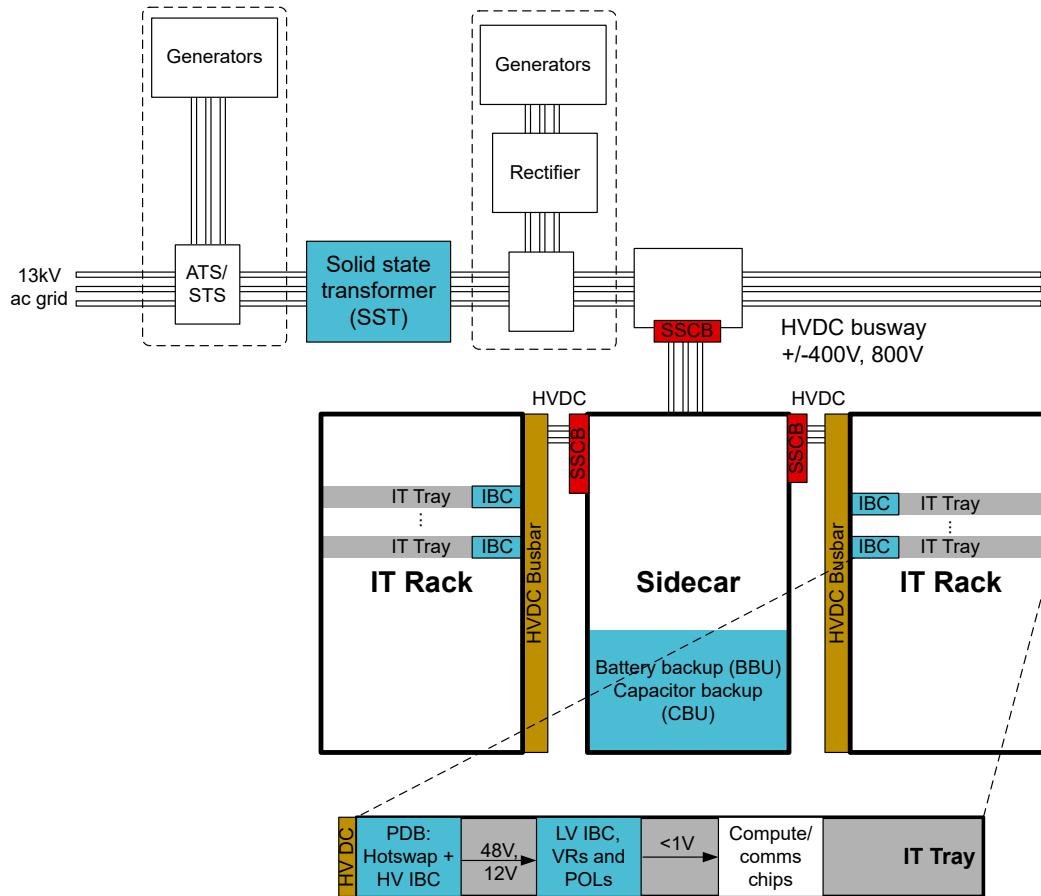


그림 5. 4세대 - AI 컴퓨팅 SST 및 DC 분배

이 아키텍처를 실현하기 위해 필요한 기술

각 전력 분배 세대마다 다수의 정교한 전력 변환 기능이 필요합니다. 이러한 기능에는 PFC, 800V_{DC} 또는 $\pm 400V_{DC}$ DC/DC 변환, 다이오드 ORing, 전류 공유, 핫스왑, 보호, 제어 및 전력 계측 등이 포함됩니다. 이러한 각 기능이 가능한 최고 수준의 성능과 효율로 동작하려면, 고급 반도체가 핵심적 역할을 합니다. 예:

- PFC를 수행하고 DC 버스 전압을 생성하려면 실시간 마이크로컨트롤러가 필요합니다. [1]
- LLC(인덕터-인덕터-커패시터) 및 PFC와 같은 토폴로지를 사용하려면 고효율의 와이드 밴드갭 반도체 스위치가 필요합니다. [2]
- 전력 계측, 제어 및 보호를 지원하려면 정확한 전류 및 전압 감지가 필요합니다. [3]
- 시스템의 다양한 절연 스위치에 전원을 공급하려면 소형 폼 팩터, 고효율 바이어스 공급 장치 [4] 및 게이트 드라이버 [5]가 필요합니다.

결론

AI는 사람이 정보 및 데이터와 상호 작용하는 방식을 바꿔놓고 있습니다. 전력 변환 요구 사항에 부응하려면 데이터 센터에 새로운 전력 분배 아키텍처가 필요합니다.

이 시리즈의 다음 회차에서는 PSU를 심층적으로 다루고, 에너지 저장에 대해 논의하며, 중간 버스 컨버터와 전압 레귤레이터의 동향을 살펴볼 예정입니다. 또한 이러한 기술을 가능하게 하는 주요 기술과 반도체에 대해서도 함께 다룰 것입니다.

참고 자료

1. 텍사스 인스트루먼트, n.d. [C2000™ 실시간 마이크로컨트롤러](#). 2025년 7월 29일에 액세스함.
2. 텍사스 인스트루먼트, n.d. [GaN\(질화 갈륨\) 전력계](#). 2025년 7월 29일에 액세스함.
3. 텍사스 인스트루먼트, n.d. [절연 ADC 웹페이지](#). 2025년 7월 29일에 액세스함.
4. 텍사스 인스트루먼트, n.d. [절연 전원 모듈\(통합형 변압기\)](#). 2025년 7월 29일에 액세스함.
5. 텍사스 인스트루먼트, n.d. [절연 게이트 드라이버](#). 2025년 7월 29일에 액세스함.

추가 리소스

- TI 문서, [서버용 전원 공급 장치 설계의 5대 동향](#)을 참조하십시오.
- Data Center Frontier의 [그리드-게이트: 전력 관리 문제를 이해하기 위한 프레임워크](#) 및 [고전압 DC 전력: 데이터 센터 전력 아키텍처의 미래](#)를 참조하십시오.
- 데이터 센터 지식: [고전압 DC: AI 데이터 센터에 적합한 전원 솔루션](#)에 대해 자세히 알아보십시오.
- [ML AI 애플리케이션을 위한 \$\pm 400\text{VDC}\$ 랙 전원 시스템](#) 영상을 시청하십시오.

상표

모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

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](https://www.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 © 2025, 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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

Last updated 10/2025