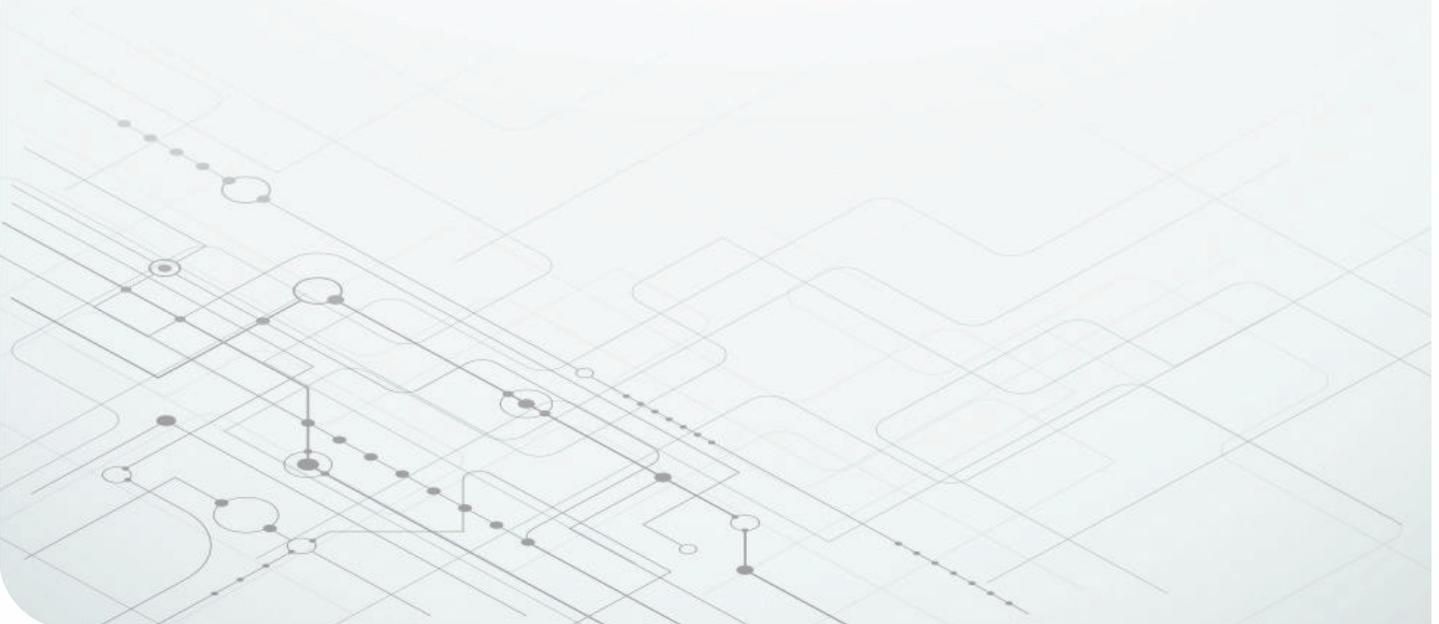


3상 통합 GaN 기술이 모터 구동 성능을 극대화하는 방법



Manu Balakrishnan
Systems engineer
Motor drivers



한눈에 보기

1 GaN이 인버터 효율성을 높이는 방법

2 GaN 전원 스위치를 통한 모터 성능 향상

3 모터 드라이브에서 GaN을 사용할 때의 설계 고려 사항

가전 제품의 에너지 소비량, 건물 난방, 환기 및 에어컨 (HVAC) 시스템, 산업용 드라이브 등을 감안하여 계절성 에너지 효율 비율(SEER), 최소 에너지 성능 표준(MEPS), Energy Star 및 Top Runner 등의 프로그램을 통해 시스템 효율성 등급을 설정하는 작업이 진행 중입니다.

가변 주파수 드라이브(VFD)는 특히 정확하고 광범위한 속도 제어가 가능한 경우 가열 및 냉각 시스템에서 최고의 시스템 효율을 제공합니다. VFD는 인버터를 사용하여 모터 속도를 제어하고 고주파 PWM(펄스 폭 변조) 스위칭을 통해 진정한 가변 속도 제어를 얻습니다.

이러한 인버터는 현재 전원 스위치로 절연 게이트 양극 트랜지스터(IGBT)와 금속 산화막 반도체 전계 효과 트랜지스터(MOSFET)를 사용하여 실현되지만 전체 손실 수준이 높은 경우 스위칭 주파수와 전력 공급은 제한됩니다. 그러나 와이드 밴드갭 기술의 발전으로 모터 드라이브의 질화 갈륨(GaN) 기반 전원 스위치는 전력 밀도, 전력 공급 및 효율성을 높이는 데 도움이 됩니다.

GaN이 인버터 효율성을 높이는 방법

GaN FET로 인한 전도 손실은 MOSFET와 유사한 GaN의 온 상태 저항에 비례합니다. 하지만 IGBT의 경우 전도 손실은 무릎 전압 및 동적 온 상태 저항에 따라 달라지며, 이는 일반적으로 GaN FET 또는 MOSFET보다 높습니다.

스위칭 손실의 경우 GaN FET는 다음과 같은 이유로 MOSFET 및 IGBT에 비해 훨씬 낮은 손실을 제공합니다.

- GaN은 제로 역방향 복구를 제공합니다. 제로 역복구 기능을 사용하면 매우 높은 전류 회전율(di/dt)과 전압 회전율(dv/dt)로 GaN FET를 전환할 수 있습니다. MOSFET에서 바디 다이오드는 높은 제로 역 복구로 인해 스위칭 di/dt 및 dv/dt가 제한되고 추가 손실과 위상 노드 전압 링잉이 발생합니다. IGBT를 사용하면 최적화된 역병렬 다이오드를 추가하더라도 역복구와 관련된 문제가 발생할 수 있습니다.
- IGBT는 꺼질 때 일반적으로 테일 전류로 알려진 소수 캐리어 재결합 전류가 발생하여 턴오프 손실이 증가합니다. GaN에는 테일 전류가 없습니다.
- GaN은 IGBT 및 MOSFET에 비해 낮은 커패시턴스를 제공하여 정전식 스위칭 손실을 낮춥니다.
- 제어되고 더 빠른 di/dt 및 제어되는 dv/dt는 전환 시 전압-전류 중첩 손실을 최적화하는 데 도움이 됩니다.

그림 1은(는) 20kHz 스위칭 주파수, GaN 기반 인버터의 위상 노드 전압 회전율이 5V/ns로 제한되고 주변 온도가 55°C인 경우 GaN, IGBT 및 MOSFET 기반 솔루션 간의 이론적 인버터 효율 비교를 보여줍니다. GaN 솔루션이 전력 손실을 절반 이상 줄이는 데 도움이 된다는 것을 알 수 있습니다.

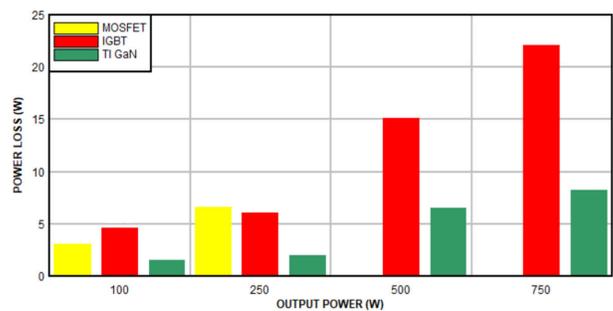


그림 1. GaN, MOSFET 및 IGBT 솔루션의 효율성 비교.

그림 2는 주변 온도 25°C에서 케이블 길이 2m의 팬 모터를 사용하여 0.85A의 평균 권선 전류와 250W의 인버터 출력 전력을 제공하는 20kHz 스위칭 주파수에서 300V_{DC} 공급을 사용하는 5A 피크 전류 정격 IGBT IPM과 텍사스 인스트루먼트(TI) DRV7308 3상 GaN 지능형 전원 모듈(IPM)의 효율성을 비교한 것입니다. GaN IPM의 회전율은 5V/ns로 구성되어 있습니다.

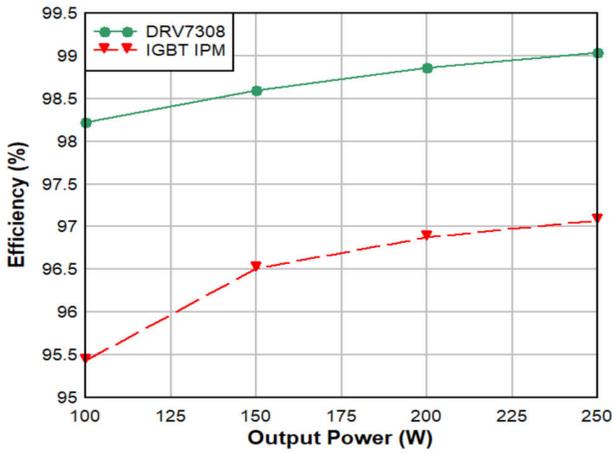


그림 2. 250W 애플리케이션에서 DRV7308과 IGBT IPM의 효율성 비교.

GaN 전원 스위치를 통한 모터 성능 향상

고속 모터를 위해 설계된 영구 자석 동기 모터 또는 인덕턴스가 낮은 모터는 전류 리플을 줄이고 최적의 모터 성능을 달성하기 위해 높은 PWM 주파수가 필요한 경우가 많습니다. 완제품 예로는 헤어드라이어, 공기 블로어 및 펌프가 있습니다.

모터 권선의 전류 리플이 높으면 원치 않는 토크 리플, 구리 및 코어 손실 증가, 스위칭 중에 감지된 평균 모터 전류의 부정확성이 발생할 수 있습니다.

MOSFET 또는 IGBT 기반 IPMS는 일반적으로 20kHz에서 사용할 수 있도록 등급이 지정되지만 높은 스위칭 손실 때문에 일반적으로 더 낮은 스위칭 주파수(6kHz~16kHz)에서 사용됩니다. 낮은 dv/dt에서 훨씬 낮은 스위칭 손실을 제공하는 GaN을 사용하면 훨씬 더 높은 주파수에서 스위칭하여 모터 효율과 성능을 향상시킬 수 있습니다.

그림 3에는 위상 노드 전압의 회전을 제어와 모든 GaN FET를 위한 사전 드라이버를 통합하는 DRV7308의 기능 블록 다이어그램이 나와 있습니다. DRV7308은 쿼드 플랫폼 무연(QFN) 12mm x 12mm 패키지로 3상 변조, 자속 기준 제어 구동 250W 모터 드라이브 애플리케이션에 대해 99% 이상의 인버터 효율성을 달성할 수 있어 히트 싱크가 필요하지 않습니다.

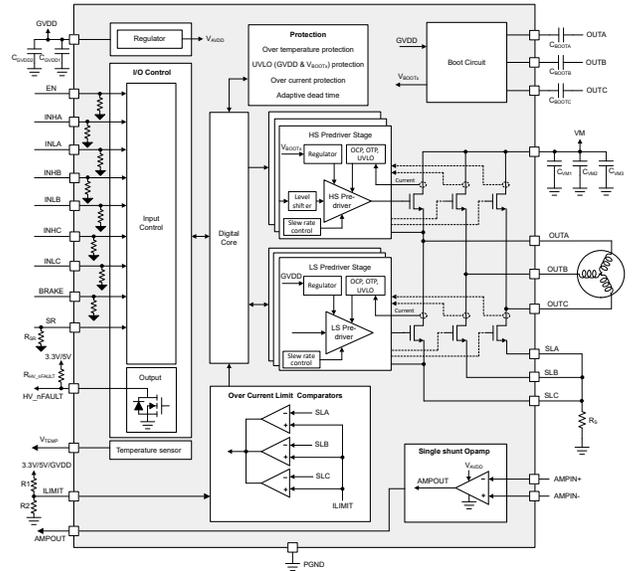


그림 3. DRV7308 기능 블록 다이어그램.

모터 드라이브에서 GaN을 사용할 때의 설계 고려 사항

설계자는 dv/dt가 모터 절연, 베어링 수명, EMI(전자기 간섭) 및 안정성에 어떤 영향을 주는지 고려해야 합니다.

DRV7308에는 위상 노드에서 dv/dt를 제어하는 일체형 프리 드라이버 회전을 제어 회로가 통합되어 있습니다. 5V/ns까지 회전을 설정을 제어하고 모터 권선 절연과 스위칭 손실 최적화 사이를 절충하여 회전을 구성할 수 있습니다. DRV7308의 낮은 회전을 설정은 기존 IGBT에서 제공하는 범위를 다루며, 회전이 높으면 스위칭 손실을 훨씬 더 낮은 값으로 유지할 수 있습니다.

그림 4 및 그림 5에서는 10V/ns의 회전을 설정과 2m 모터 케이블을 지원하며 300V의 1A 부하에서 DRV7308의 위상 노드 스위칭 전압을 보여줍니다. 기생이 낮고 드라이버 회전을 제어하는 GaN FET의 제로 역방향 복구는 깔끔한 전압 스위칭 파형을 달성하는 데 도움이 됩니다.

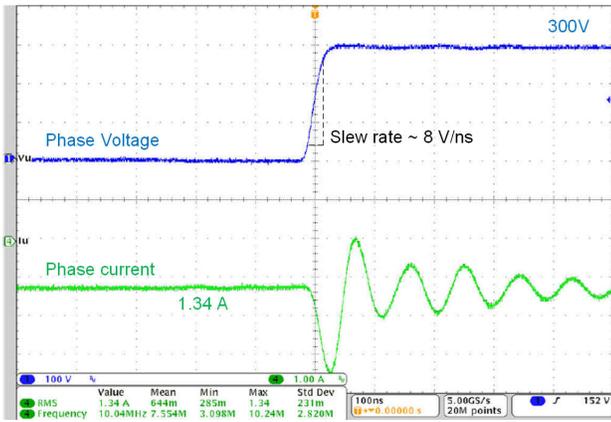


그림 4. 2m 케이블 및 팬 모터를 사용한 위상 노드 전압 상승 회전을.

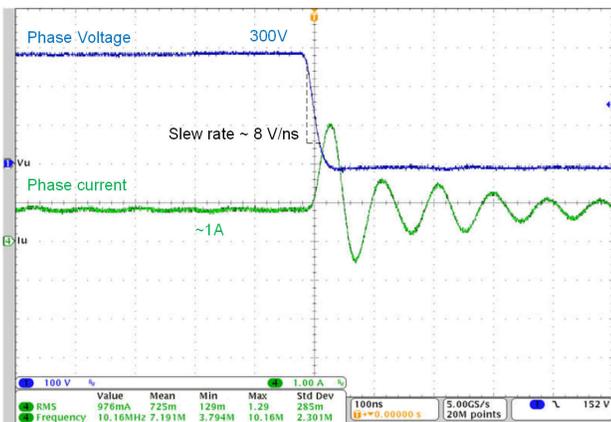


그림 5. 2m 케이블 및 팬 모터를 사용한 위상 노드 전압 하강 회전을.

시스템 효율성에 미치는 영향

에어컨 및 냉각 시스템은 최고 수준의 컴프레서 및 난방 시스템 효율을 달성하기 위해 매우 광범위한 속도 제어가 필요한 경우가 많습니다. 데드 타임이 1 μ s 이상이고 전파 지연이 500ns 이상인 기존 IPMS는 최대 및 최소 작동 PWM 듀티 사이클을 제한하고 작동 속도 범위를 줄입니다. 데드 타임이 높을수록 모터에 사용 가능한 전압이 줄어들고, 동일한 전력 공급을 위한 모터 전류의 양이 증가합니다.

DRV7308은 최대 데드 타임이 200ns 미만이고 전파 지연이 200ns 미만이므로, 설계자가 작동 PWM 듀티 사이클 범위를 개선하고, 모터의 사용 가능한 전압을 높이는 동시에 작동 PWM 듀티 사이클 범위를 개선할 수 있습니다. 예를 들어, 에어컨 시스템에서 초고속 인터넷을 얻을 수 있는 능력을 통해 설계자가 시작 시 최고 속도를 설정하여 시스템을 더 빠르게 냉각시키고 가열할 수 있습니다. 그런 다음

설정 온도에 도달한 후 설계자는 에어컨 부하 변화에 따라 더 미세한 저속 및 용량 제어를 사용할 수 있습니다. 이 더 정교하고 최적의 부하 지점 제어는 시스템 효율을 높이는 데 도움이 됩니다.

전파 지연 불일치가 적고 데드 타임과 전파 지연이 매우 짧아 정확한 평균 전류 감지가 가능하므로 특히 현장 중심의 제어 드라이브에서 제어 정확도가 향상됩니다. 그림 6은 전파 지연이 평균 전류 감지 정확도에 미치는 영향을 보여줍니다. PWM 중에 PWM 온 타임 주기 중간에 전류를 샘플링하면 모든 PWM 사이클의 평균 모터 전류가 수집됩니다. 그림 6에서는 또한 전파 지연이 어떻게 중간 값에서 전류 감지를 이탈하는지 보여줍니다. 전류 감지(Δ)의 오차는 전파 지연, 적용 전압, PWM 스위칭 주파수 및 모터 인덕턴스에 따라 달라집니다. 인덕턴스가 낮은 모터의 경우 오차가 높아집니다. 전류 감지 오차는 무센서 제어 드라이브의 모터 위치 감지(측정기) 정확도에도 영향을 미칩니다. 모터 위치 예측 오차가 발생하면 모터 효율이 감소합니다. 전파 지연과 전파 지연 불일치가 매우 낮은 DRV7308은 정확한 평균 전류 감지를 달성하고 모터 효율을 개선하는 데 도움이 됩니다.

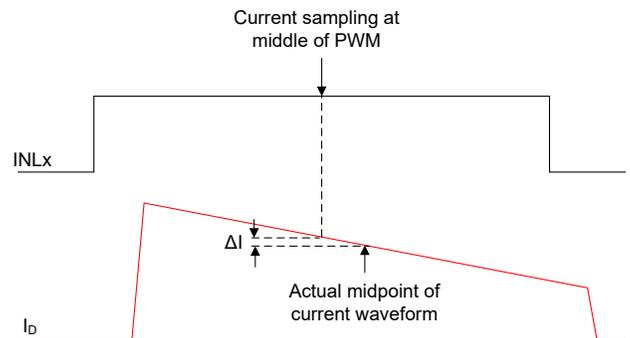


그림 6. 전파 지연이 전류 감지 정확도에 미치는 영향.

가청 잡음에 미치는 영향

모터 구동 시스템에서 가청 잡음의 주요 소스 중 하나는 전류 왜곡으로 인한 토크 리플입니다. 모터의 경우 전류 왜곡은 PWM 주파수, 데드 타임 및 전류 감지 정확도를 포함한 여러 요소에 따라 달라집니다.

DRV7308은 스위칭 손실을 크게 줄이고 IGBT 또는 MOSFET 기반 솔루션에 비해 더 높은 PWM 주파수를 구현합니다. 스위칭 주파수가 높을수록 권선 전류 리플이 감

소하여 가청 주파수 범위를 넘어서는 낮은 토크 리플을 구현할 수 있습니다.

IGBT 및 MOSFET 기반 시스템에서 데드 타임은 $1\mu\text{s} \sim 2\mu\text{s}$ 이상이므로 모터 전류 왜곡이 많이 발생합니다. 데드 타임 왜곡은 60도 전기 각도마다 발생하며, 전류 파형에서 6번째 고조파가 발생하며, 보통 가청 주파수 범위로 떨어집니다. DRV7308의 적응형 데드 타임 로직은 200ns 미만의 데드 타임 기능이 있어 전류 왜곡이 최소화되어 가청 잡음을 낮춥니다.

그림 7에서는 DRV7308을 $0.2\mu\text{s}$ 데드 타임으로, IGBT IPM을 $2.5\mu\text{s}$ 데드 타임으로 테스트할 때 모터 권선 전류 THD(총 고조파 왜곡)를 비교합니다. DRV7308 왜곡은 IGBT IPM에 비해 매우 낮습니다. 이 왜곡은 데드 타임의 영향이 더 큰 낮은 듀티 사이클 또는 낮은 인버터 변조 지수로 인해 낮은 전력 공급에서 IGBT IPM의 경우 기하급수적으로 높아집니다.

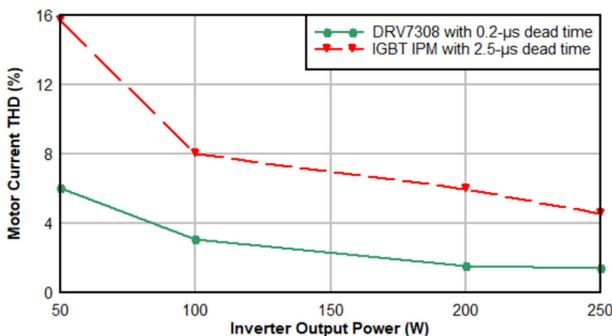


그림 7. 데드 타임과 모터 전류 THD 비교.

전도 및 방사 방출 고려 사항

전도 및 방사 방출은 스위칭 주파수, dv/dt , di/dt , 스위칭 전압 진동 및 반사, 스위칭 전류 루프 영역에 따라 달라집니다.

DRV7308에는 EMI 및 전자기 호환성 문제를 해결하기 위해 다음과 같은 여러 설계 기술과 PCB(인쇄 회로 보드) 레이아웃 옵션이 통합되어 있습니다.

- **PWM 스위칭 주파수.** 스위칭 주파수가 높을수록 EMI 주파수 스펙트럼에 대한 영향이 커집니다. 높은 스위칭 주파수는 전도 방출을 충족하기 위한 전류 리플과 커패시터 요구 사항을 줄이는 데 도움이 됩니다. DRV7308은 매우 낮은 값부터 최대 60kHz까지 광범위한 스위칭

주파수를 제공합니다. 설계자는 시스템 성능 및 EMI 요구 사항에 따라 최적의 주파수를 선택할 수 있습니다.

- **dv/dt .** DRV7308 사전 드라이버는 EMI 요구 사항을 충족하기 위해 위상 노드 스위칭 회전을 제어할 수 있습니다.
- **di/dt .** 제로 역방향 복구와 낮은 기생을 가진 GaN은 스위칭 중에 위상 노드에서 전압 오버슈트와 오실레이션을 생성하지 않고 더 나은 스위칭 성능을 제공할 수 있습니다. 그림 4와 그림 5는 DRV7308의 깨끗한 스위칭으로 EMI를 낮춥니다.
- **작은 스위칭 전류 루프 영역.** 로컬 디커플링 커패시터는 스위칭 중에 펄스 전류를 제공합니다. DRV7308은 **그림 8**에 나와 있는 것처럼 DC 전압 디커플링 커패시터(C_{VM})로의 스위칭 전류 루프 영역이 매우 최소화하도록 설계되었습니다.

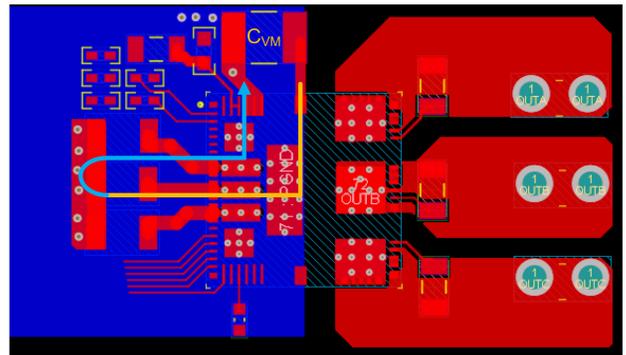


그림 8. 작은 전류 루프 영역을 설명하는 DRV7308의 일반적인 레이아웃 레퍼런스.

솔루션 크기에 미치는 영향

작은 패키지 크기와 히트 싱크 제거 외에도 DRV7308은 모터 전류 감지를 위한 연산 증폭기, 전류 제한을 위한 3개의 비교기, 온도 센서와 보호 기능 제품군을 사용하면 IGBT 또는 MOSFET 기반 솔루션에 비해 인버터 보드 크기를 최대 55%까지 줄일 수 있습니다.

또한 크기 감소를 통해 인버터를 모터 가까이 통합할 수 있습니다. 이는 팬, 블로어 및 펌프 같은 사용 사례에 유용하며, 인버터 보드에서 모터로 연결할 필요가 없습니다. 이 케이블을 제거하면 케이블 커패시턴스로 인한 스위칭 손실이 제거되고, 긴 케이블로 인한 전도 및 방사 EMI가 완화됩니다.

견고하고 안정적인 시스템 설계

GaN은 포화를 제거하기 위해 더 빠르고 안정적인 과전류 보호가 필요합니다. 통합 보호 기능은 기생 효과를 제거하고 수백 나노초 단위의 빠른 응답을 제공합니다. 인버터 및 모터는 과부하 상태 시 열 폭주를 제거하기 위해 과전류 보호 기능이 필요합니다.

230V_{AC} 유선 모터 드라이브는 AC 라인의 전압 허용 오차에서 또는 능동 역률 보정 회로를 사용하여 최대 450V_{DC}의 정류된 DC 버스 전압을 제공할 수 있습니다. 인버터는 450V의 작동 전압을 위해 설계해야 합니다. 일부 모터 드라이브는 모터에 의해 생성된 역기전력이 공급 전압을 초과하거나 유도 킥백이 있는 경우 짧은 기간 동안 더 높은 전압을 처리해야 합니다. 또한 인버터는 입력 라인 전압 서지나 빠른 전기적 과도 이벤트와 같은 과전압 시나리오 시 손상을 방지하기 위해 더 높은 오프 상태 차단 전압을 처리해야 할 수 있습니다.

DRV7308은 과전류 이벤트 중에 GaN FET를 보호하기 위해 드레인-소스 전압 보호 기능이 통합되어 설계되었습니다. 또한 650V 오프 상태 차단 전압 정격과 450V 작동 전압을 위해 설계된 사이클 단위 전류 제한을 위한 통합 과전류 비교기를 제공합니다. 다른 보호 기능은 부족 전압, 과전류 및 핀 대 핀 단락 등의 고장 시나리오를 모니터링합니다.

결론

DRV7308 같은 GaN 기반 IPMS의 발전은 가전 및 HVAC 시스템의 모터 드라이브의 전력 밀도, 전원 공급 및 효율성을 높이는 동시에 시스템 비용을 절감하고 안정성을 높이는 데 계속 도움이 될 것입니다.

추가 리소스

- [DRV7308 3상 650V, 5A, GaN 지능형 전원 모듈 데이터 시트](#)
- [GaN IPM 포트폴리오](#)
- [TI GaN 기술에 대해 자세히 알아보기](#)
- [PWM 스위칭 주파수 및 변조 색인이 무슬롯 영구 자석 모터의 철분 손실 및 성능에 미치는 영향](#)
- [AC 전기 드라이브의 와이드 밴드갭 장치: 기회 및 당면 과제](#)

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