

TI GaN FET와 C2000™ 실시간 MCU를 결합하여 전력 밀도가 높고 효율적인 전원 시스템 달성



Cody J. Watkins

애플리케이션 엔지니어, C2000 실시간 MCU
텍사스 인스트루먼트



파워 일렉트로닉스 업계의 설계자에게는 시스템 성능을 높이기 위한 새 기술과 방법이 필요합니다. C2000 실시간 MCU와 GaN FET가 힘을 합쳐 효율성과 전력 밀도 과제를 해결합니다.

한눈에 보기

이 기술백서에서는 [통합 드라이버를 갖춘 TI 질화 갈륨\(GaN\) 전계 효과 트랜지스터\(FET\)](#) 및 [TI C2000™ 실시간 마이크로 컨트롤러\(MCU\)](#)의 기능을 결합하여 파워 일렉트로닉스 설계자가 최신 전력 변환 시스템을 개발할 때 직면하는 문제를 해결하는 방법을 설명합니다.

1 파워 일렉트로닉스 시장을 혁신하는 GaN

GaN이 신생 기술이라고 생각할 수도 있지만, TI의 GaN 기술은 업계의 과제를 해결하고 있으며 광범위하게 배포할 준비가 되었습니다.

2 GaN에 적합한 디지털 컨트롤러 선택

GaN의 잠재적 이점은 매우 많지만, 적합한 디지털 컨트롤러를 선택했을 때만 이점을 완전히 실현할 수 있습니다.

3 높은 스위칭 주파수를 통해 시스템 비용 절감

GaN은 높은 스위칭 주파수를 통해 고출력 자기 소자, 팬 및 히트 싱크를 줄이고, C2000 실시간 MCU는 이로 인해 발생하는 내부 제어 과제를 해결합니다.

4 GaN 장치와 C2000 실시간 MCU 인터페이스

C2000 실시간 MCU는 외부 글루 로직 없이도 TI GaN FET의 모든 피드백을 제어합니다.

GaN 사용의 이점을 얻을 수 있는 시장의 예로는 서버와 텔레콤 전원 공급 장치가 있습니다. 디지털 통신 인프라 시장은 계속 성장하고 있으며, 이와 함께 향후 5년 동안 랙 서버 시장이 두 배로 커지고 하이퍼스케일 데이터 센터가 약 20%의 연평균 성장률로 확장할 것으로 예측됩니다.

이러한 빠른 성장과 더불어 효율성, 전력 밀도, 과도 응답 요구 사항이 계속 늘어나고 있습니다. GaN FET는 스위칭 손실과 높은 전력 밀도를 대폭 개선하는데, 이는 성장하는 시장에서 규모가 확대됨에 따라 기술 과제를 해결하는 데 도움이 될 수 있습니다.

이 기술백서에서는 [통합 드라이버를 갖춘 TI GaN FET](#) 및 [TI C2000 실시간 MCU](#)의 기능이 고유하게 포지셔닝되어 파워 일렉트로닉스 설계자가 최신 전력 변환 시스템을 개발할 때 직면하는 문제를 해결하는 방법을 살펴봅니다.

파워 일렉트로닉스 시장을 혁신하는 GaN

GaN 기술은 많은 잠재적 이점을 보여 왔지만, 그 실용성을 우려하는 것도 타당할 수 있습니다. GaN FET가 신기술이라는 인식이 널리 퍼져 있지만, 실제로는 20년도 더 된 기술입니다. 비용, 보호 및 안정성이 GaN의 도입을 방해하는 요인이었는데, TI의 GaN 장치 제품군은 이러한 각 문제를 해결합니다.

비용

TI GaN FET는 기존의 TI 프로세스 기술 노드를 활용하는 'GaN-on-silicon' 공정을 사용합니다. 이렇게 하면 실리콘 카바이드 또는 사파이어 같은 비싼 기판을 사용하지 않아도 될 뿐만 아니라 실리콘 기술 분야에서

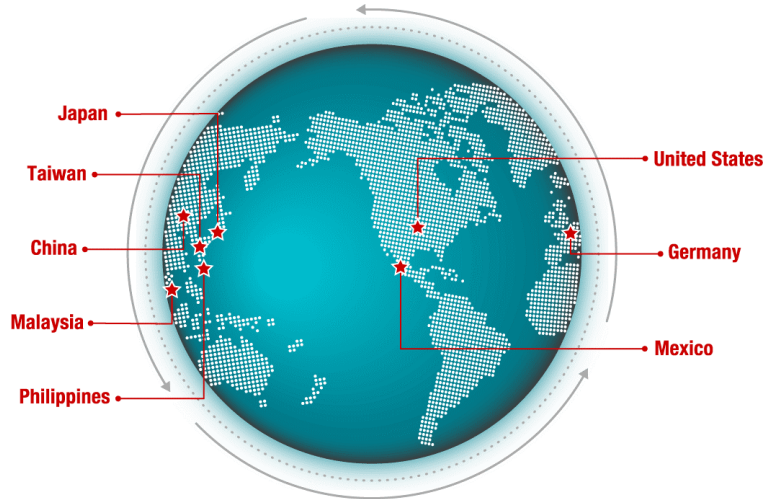


그림 1. TI 제조 공정 지도.

일해 온 수년간의 전문성을 이용할 수 있습니다. **그림 1**에 나와 있듯이 TI는 개발, 테스트, 패키징을 모두 내부에서 수행합니다. 그 결과, GaN은 현재 비용 경쟁력을 갖추게 되었으며 향후에는 더 저렴해집니다.

보호

TI의 GaN 기술은 다양한 진단 및 자가 보호 기능을 제공합니다. GaN FET는 과전류, 단락, 저전압 및 과열 상태를 자동으로 감지하고 처리합니다. 이러한 상태를 MCU에 동시에 보고하여 제어 알고리즘을 수정함으로써 재발을 방지합니다.

안정성

TI는 GaN 장치에 대해 4천만 시간 이상의 장치 안정성 시간, 10년의 수명에 대해 1 미만의 FIT(시간당 고장) 비율을 기록했습니다. 내부 안정성 테스트 외에도 GaN 장치를 가장 혹독한 스위칭 환경에 두고 5GW 시간의 애플리케이션 내 스트레스 테스트로 전환했습니다.

TI GaN 장치는 FET 드라이버와 GaN FET를 하나의 패키지로 결합하여 비용, 보호 및 안정성 문제를 해결합니다. 빠른 스위칭, 2.2MHz 통합 게이트 드라이버를 통해 TI GaN FET는 실리콘보다 두 배 더 높은 전력 밀도를 구현하는 동시에 99%의 효율성을 달성합니다. 이 기술은 AC/DC 애플리케이션에서 효율성은 가장 높은 데 비해 손실은 가장 낮습니다. 또한 통합된 고속 보호 및 디지털 온도 보고를 통해 PSU(전원 공급 장치)를 위한 능동 전원 관리 및 열

모니터링을 구현합니다. TI 기술은 이 모든 고유한 이점과 함께 GaN 도입을 실현했습니다.

GaN에 적합한 디지털 컨트롤러 선택

GaN으로 더 높은 스위칭 주파수가 구현되면서 전원 공급 장치가 더 효율적으로 더 높은 전력 밀도에 도달할 수 있습니다. 이렇게 하려면 보통 더 복잡한 전원 토폴로지와 제어 알고리즘(예: 제로 전압 스위칭, 제로 전류 스위칭 또는 하이브리드 히스테리시스 제어 기능이 있는 LLC(인덕터-인덕터-커패시터)-공진 DC/DC)가 필요합니다.

디지털 컨트롤러의 적응성은 이러한 복잡한 토폴로지에만 유익합니다. 여러분에게는 시간이 중요한 복잡한 계산을 처리할 능력이 있고 정밀 제어를 실현하고 소프트웨어 및 주변 장치 호환성을 통해 확장할 수 있는 디지털 컨트롤러가 필요합니다. C2000 실시간 MCU가 이러한 고려 사항을 직접 해결합니다. **그림 2**는 C2000 실시간 MCU와 GaN FET 드라이버를 보여 줍니다.

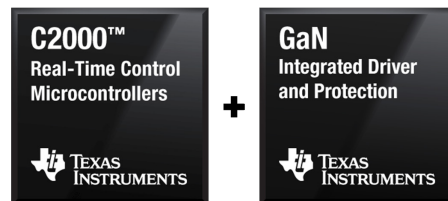


그림 2. C2000 MCU와 TI GaN 장치가 연계하여 가장 효율적이고 안정적이며 전력 밀도가 높은 디지털 전원 시스템을 달성합니다.

C2000 실시간 MCU 명령어 효율성

C2000 실시간 MCU는 고급 명령어 집합이 있어서 복잡한 수학 계산에 필요한 사이클 수를 대폭 줄여줍니다. 계산 시간이 줄어든다는 것은 장치의 작동 주파수를 늘리지 않고도 제어 루프 주파수를 늘릴 수 있음을 의미합니다. 이러한 효율성 이득은 자동으로 발생하며 사용자가 쉽게 얻을 수 있습니다. 코드 컴파일러, CPU(중앙 처리 장치) 파이프라인 및 명령 집합은 모두 명령 사이클당 최대 연산 능력을 얻기 위해 설계되었습니다.

사용자의 눈에 더 잘 띄는 것은 FPU(부동 소수점 장치) 및 TMU(삼각 수학 장치)입니다. 이러한 강화된 명령을 C28x 코어와 긴밀하게 통합하면 명령이 파이프라인화되어 일반 CPU 명령처럼 병렬로 실행되어 클럭 사이클마다 효율성을 더 높입니다.

예를 들어, FPU는 표준 고정 소수점 계산보다 속도가 2.5배 이상 빠릅니다. 아울러 FPU는 C28x 코어를 통해 부동 소수점 연산을 사용하는 모델 기반 시뮬레이션, 코어 생성 도구를 활용합니다. 이는 코드 개발과 시스템 검증에 쓰는 시간을 줄이고 제품 출시 기간을 단축할 수 있음을 의미합니다.

TMU는 FPU를 보완하며, FPU를 단독으로 사용했을 때보다 20배 더 개선된 모습을 보여줍니다. [C2000 실시간 MCU를 사용하는 양방향 고밀도 GaN CCM](#)

[토텐 폴 PFC 레퍼런스 디자인](#)에서, PWM(펄스폭 모듈레이터) 온타임 및 데드 타임의 제어를 계산하려고 할 때 이러한 계산을 $10\mu\text{s}$ 이하에서 $0.5\mu\text{s}$ 미만으로 줄이면서 이점을 분명히 보여줍니다. 이로 인해 사이클별 기준으로 적응형 불감대 계산을 수행할 있어서 GaN FET를 더 정확하고 효율적으로 제어할 수 있습니다.

과도 응답 요구 사항 충족

작은 사이클별 효율성이 중요한 이유는 무엇일까요? 한 가지 이유는 이러한 효율성 덕분에 더 빠른 과도 응답 요구 사항을 충족할 수 있기 때문입니다.

과도 응답 요구 사항은 전원 공급 장치가 변화하는 부하에 얼마나 빠르게 반응할 수 있는지를 설명합니다. 예를 들어 서버에 사용되는 최신 프로세서는 더 높은

전력을 요구하기 때문에 과도 응답 요구 사항을 충족하는 것이 더 어렵습니다. 지금까지는 $1\text{A}/\mu\text{s}$ 가 일반적이었지만, 오늘날의 표준은 $2.5\text{A}/\mu\text{s}$ 이상을 요구합니다. 제어 루프의 주파수가 증가하면 다양한 상태를 감지하고 이에 반응하는 속도를 변화시켜 직접적으로 도움이 됩니다. C2000 실시간 MCU의 독보적인 처리 능력은 이러한 과도 응답 요구 사항을 해결하는 데 도움이 될 수 있습니다.

$5\text{A}/\mu\text{s}$ 이상의 가장 극단적인 과도 응답 요구 사항을 충족하기 위해 C2000 실시간 MCU는 PWM이 외부 부품을 사용하지 않고 온전히 하드웨어를 통해서만 신호를 보내는 통합 아날로그를 활용합니다. 이 제어는 통합 아날로그 비교기를 사용해 피드백 신호를 내부 12bit DAC(디지털-아날로그 변환기)를 통해 구현되는 고정 설정값 또는 램프 생성기와 비교하여 달성합니다. 이 기술은 디지털 컨트롤러의 유연성을 유지하는 동시에 완전히 하드웨어 기반인 제어 루프의 고유한 속도 이점을 추가합니다. 실행 중에는 PWM의 트립과는 완전히 별개로 소프트웨어 제어 루프 내부의 DAC 출력을 조정하여 PWM 트립 지점을 계속 모니터링하고 조정합니다. 결과적으로, 이는 C2000 실시간 MCU가 효율성 표준을 충족하는 유연성을 유지하는 동시에 다양한 부하 조건에서 더 빠른 응답 시간을 제공할 수 있음을 의미합니다.

정밀하고 안전한 시스템 제어 구현

GaN FET의 셧스루 및 3사분면 전도에는 고정밀 제어가 필요합니다. C2000 실시간 MCU의 고해상도 PWM은 PWM의 기간, 듀티 사이클, 위상 및 불감대에 대해 150ps 해상도를 지원합니다. 트립 영역 하위 모듈과 내장 아날로그 비교기는 오류 상황을 안전하게 처리하는 한편 완전히 비동기적으로 작동하며 CPU 개입 없이 단 25ns 에서 PWM의 출력을 중지하는 기능을 제공합니다.

쉬운 방식의 다중 위상 시스템

단상 설계 이상으로 범위를 확장하는 C2000 실시간 MCU는 시스템 고장 방지를 위해 모든 위상을 동기화 상태로 유지해야 하는 다중 위상 설계의 문제도 해결합니다. PWM의 주파수, 듀티 사이클 또는

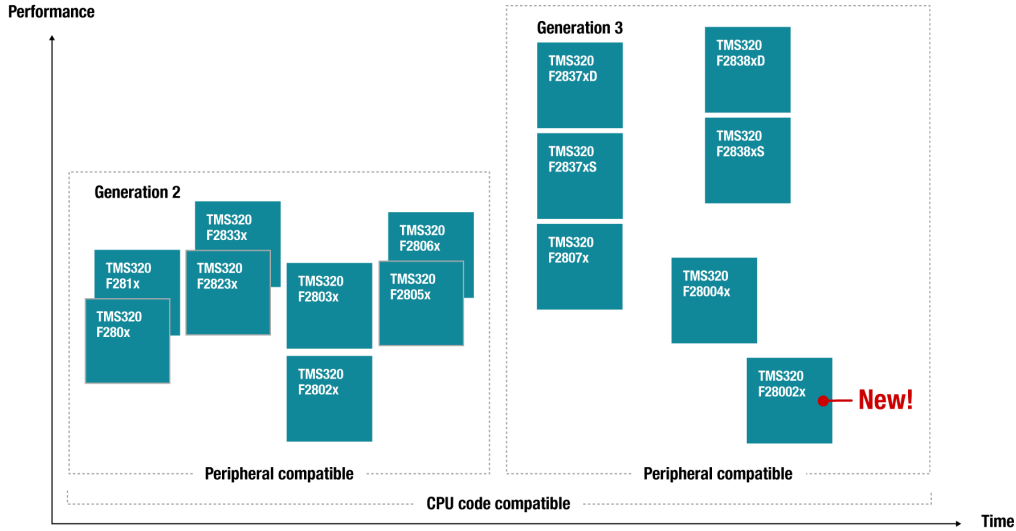


그림 3. TI GaN 장치를 지원하는 C2000 실시간 MCU 포트폴리오.

불감대를 수정하는 것을 고려해야 합니다. 이러한 값의 순차 업데이트는 오늘날 일반적이지만, 순차 업데이트에는 하드웨어와 가능한 모든 코드 순열(인터럽트 기반 임베디드 시스템에서 특히 어려움)에 대한 복잡한 지식이 필요합니다.

C2000 실시간 MCU의 전체적 부하 매커니즘은 CPU 개입이 전혀 없이 필요한 모든 PWM 레지스터를 하나의 명령 사이클에서 업데이트하도록 허용하여 PWM 업데이트를 해결합니다. 이 혁신은 고주파수 인터리브 LLC 토폴로지의 제어를 지원하며, 순차 업데이트에 의해 보통 간헐적이고 비반복적인 오류로 나타나는 버그를 동시에 제거합니다. 전체적 부하 매커니즘을 사용하면 더 강력하고 안전한 시스템을 구현할 뿐만 아니라 시스템 검증 노력도 줄일 수 있습니다.

C2000 실시간 MCU 포트폴리오의 확장성

그림 3에 나와 있듯이, F280025C 같은 저비용 C2000 실시간 MCU는 실시간 MCU의 C2000 포트폴리오를 소형 서버 전원 설계에 맞는 비용으로 확장하는 동시에 고유한 처리 및 제어 기능을 계속 제공합니다. 시스템 요구 사항이 변함에 따라 C2000 플랫폼은 출시 기간을 단축할 수 있도록 소프트웨어 투자를 유지하는 동시에 실시간 mcu 기능(ADC(아날로그-디지털 변환기) 입력, 연산 능력, pwm 채널, 패키지)을 늘리거나 줄일 수 있도록 지원합니다.

높은 스위칭 주파수를 통해 시스템 비용 절감

TI GaN과 C2000의 개별 이점을 알아보았으니, 이제 시스템 수준 이점에 대해 다루겠습니다. 기존에는 FET 스위칭 손실로 인해 변환기를 수백 kHz로 효율적으로 변환할 수 있는 최대 속도가 제한되었습니다. 그러면 스위칭 주파수에 자기 소자의 최소 크기 요구 사항이 생기고, 이는 전력 밀도와 시스템 비용 요구 사항에 부정적인 영향을 미칩니다.

앞서 언급했듯이, TI GaN 장치의 통합 드라이버는 150V/ns 이상의 스위칭 속도에서 최대 2.2MHz의 스위칭 주파수를 지원하며, 이로 인해 개별 GaN FET보다 속도는 두 배로 빨라지고 손실은 절반으로 줄었습니다. 이 통합은 인덕턴스가 낮은 패키징과 결합하여 깔끔한 스위칭과 최소한의 링잉을 제공합니다. 이러한 효율성 덕분에 전력 시스템에 사용하는 자기 소자의 크기를 줄일 수 있고, 결과적으로 팬 또는 히트 싱크가 필요하지 않게 되어 시스템 비용이 줄어드는 동시에 전력 밀도가 높아집니다.

더 높은 스위칭 주파수에 따른 어려움 극복

TI GaN 장치는 시스템 스위칭 주파수를 더 높여서 자기 소자의 전체 크기를 이전의 1/5로 줄이고 유사한 실리콘 역률 보정(PFC) 애플리케이션보다 세 배 더 높은 전력 밀도를 구현합니다. 이 이점은 PFC 단계뿐 아니라 모든 파워 일렉트로닉 시스템에서 볼 수 있습니다.

그렇다면 여기에 숨겨진 것은 무엇일까요? 이 모든 이점과 더불어, 스위칭 주파수의 증가는 단점과 설계 과제를 더합니다. 예를 들어, 토렘 폴 PFC에서 인덕터의 크기가 작아지면 불감대 유도 3사분면 손실과 같은 제어상 어려움이 추가로 발생할 수 있습니다. C2000 실시간 MCU에 설정된 고유한 기능은 다음 기능을 통해 이 문제를 해결합니다.

- C2000 실시간 MCU는 150ps 고해상도 불감대를 제공하여 더 정밀한 에지 배치를 지원하고 불필요한 3사분면 손실을 줄입니다. 애플리케이션 보고서 "["GaN에 바디 다이오드가 있습니까? - GaN의 3사분면 작동 이해"](#)"에서 TI GaN의 3사분면에 대해 자세히 알아보십시오.
- 앞서 설명했듯이 TMU는 적응형 불감대 제어 체계를 구현하여 더 빠른 계산을 통해 손실을 더 줄입니다.

98.75%의 피크 효율과 2% 미만 THD의 [3.3kW 양방향 인터리브 CCM 토렘 폴 PFC 레퍼런스 디자인](#)에서 이러한 실제 기능을 살펴보세요.

토렘 폴 PFC의 입력 인덕터를 줄이면 제로 크로스 지점에서 전류 스파이크가 증가하여 총 고조파 왜곡에 부정적인 영향을 미칠 수 있습니다. 양극과 음극 간에 입력 파형이 전환될 때 전류 스파이크가 증가하고, 동기 및 활성 FET가 반전되면서 돌입 전류가 발생합니다. 돌입 전류는 대개 인덕터와 FET 및 다이오드의 출력 커패시턴스에서 전압이 축적되면서 발생합니다. C2000 실시간 MCU는 MCU에서 최소 CPU 오버헤드로 소프트 시작 알고리즘을 구현하는 정교한 새도 로딩 체계를 통해 이러한 문제를 해결합니다.

마지막으로, 통합 아날로그의 속도와 병렬 처리는 디지털 마이크로 컨트롤러의 제어 루프 주파수 증가에 필수적입니다. 이것이 없으면 통합 드라이버를 갖춘 TI GaN 장치의 모든 이점을 실현할 수 없습니다. F28002x 시리즈에는 2개의 독립 아날로그-디지털 변환기에 연결된 최대 16개의 개별 아날로그 채널이 있고, 각 아날로그-디지털 변환기는 2 LSB(최소 유효 비트)의 INL(통합 비선형성), 1 LSB의 DNL(차동 비선형성) 및 최대 3.45 MSPS(초당 메가 샘플 수)의 속도에서 11bit의 ENOB(유효 비트 수)로 훌륭한 성능을 제공합니다. 여러 ADC 사양을 구현하면, PWM 유닛과 긴밀히 결합하고 최고의 실시간 제어 전략에 맞춰 조정할 수 있는 변환 트리거의 유연한 시작 덕분에 여러 소스의 피드백을 동시에 샘플링할 수 있습니다. 예를 들어, AC 그리드의 라인 및 중성점 전압을 동시에 측정하면 제어 루프를 더 빠르게 실행하고 더 뛰어난 시스템 정확성을 제공할 수 있습니다.

GaN이 더 높은 효율성 표준 및 전력 밀도 요구 사항에 도달할 수 있는 능력을 이끌면서 새로운 도전을 제시했습니다. C2000 실시간 마이크로 컨트롤러는 자기 소자를 줄이고 시스템 주파수를 늘릴 때 생기는 내부의 제어 문제를 해결하도록 고유하게 설계되었습니다.

GaN 장치와 C2000 실시간 MCU 인터페이스

아래 [그림 4](#)에 나와 있듯이 C2000 실시간 MCU와 GaN 장치 간의 인터페이스에는 ISO7741-Q1과 같은 디지털 절연기가 포함되어 있습니다. 이 절연 장치는

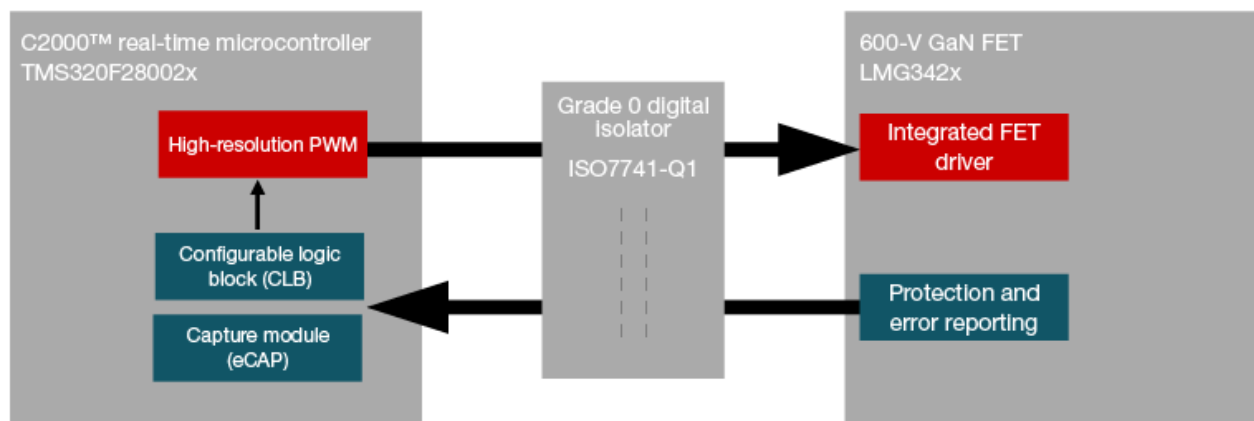


그림 4. C2000 MCU와 TI GaN 장치를 인터페이스하는 데 필요한 유일한 부품.

과도 잡음을 억제하고 C2000 실시간 MCU를 보호하는데 도움이 됩니다. 마이크로 컨트롤러, 절연기 및 GaN 장치는 모두 인터페이스에 필요합니다.

최대 5.7kVrms의 높은 절연 정격을 제공하고 최대 150Mbps의 속도를 지원하는 TI 디지털 절연기는 C2000 실시간 MCU와 GaN FET 사이의 절연 장벽으로 적합합니다. 이 절연기는 정밀한 제어를 확립하는데 필요한 속도와 낮은 지연 시간 및 장치 간 피드백 경로를 제공합니다.

제어

PWM의 주기, 듀티 사이클, 위상 및 불감대에서 150ps 해상도 제어를 제공하는 고해상도 PWM 모듈을 사용하여 GaN FET 제어를 달성합니다. PWM 출력에는 CPU 개입 없이 25ns로 피드백에 응답할 수 있는 통합 트립 영역의 하위 모듈이 있습니다.

피드백

C2000 실시간 마이크로 컨트롤러는 고유한 장치 세트를 통합하여 추가 개별 부품 없이도 최근 출시된 LMG3425R030을 비롯한 TI GaN 장치의 피드백 신호를 샘플링합니다. 피드백은 다음과 같은 두 개의 주요 소스에서 제공됩니다.

- **고장 보고.** LMG3425R030은 고장 정보를 인코딩합니다. 소프트웨어에서 이 정보를 디코딩하면 소프트웨어 고장 처리와 관련된 지연이 있을 때 위험할 수 있습니다. 더 빠른 응답을 위해 고장 신호를 외부적으로 장치와 결합할 수 있지만, 이렇게 하려면 개별 부품을 사용해야 합니다. C2000 실시간 MCU는 소프트웨어 및 외부 부품이 없어도 CLB(구성 가능한 로직 블록)를 사용하여 GaN 장치에서 생성된 고장 상태를 읽고, 처리하고, 이에 응답하여 성능을 최적화하고 시스템 비용을 줄입니다.
- **온도 모니터링.** LMG3425R030 장치의 온도 모니터링 출력은 고정 주파수 가변 듀티 사이클 신호로 나옵니다. 일반적으로 구현하려면 외부 필터를 사용하여, ADC에서 샘플링해야 하는 PWM 기반 DAC를 구현해야 합니다. C2000 실시간 MCU의 개선된 캡처 모듈은 이러한 외부 구성 요소를 완전히

제거하는 동시에 CPU 오버헤드 없이 온도 정보를 캡처하여 비용을 더욱 최적화하고 보드 공간을 절약합니다.

마무리

최신 디지털 전원 시스템에서 효율성과 전력 밀도 표준은 여러 가지 큰 도전을 제시합니다. TI GaN 장치는 더 높은 전력 밀도와 효율성을 구현하는 동시에 안정적이고 합리적인 가격의 기술을 제공합니다. ISO7741-Q1은 비용 효율적인 인터페이스를 제공하며, C2000 실시간 MCU는 오늘날의 복잡한 제어 체계와 관련된 어려움을 해결합니다. 이러한 장치들이 연계하여 최신 디지털 전원 시스템에 유연하면서 단순한 솔루션을 제공하며, 동시에 더 안전하고 가장 전력 밀도가 높으며 효율적인 디지털 전원 시스템을 구현하는 최신 기능을 제공합니다.

개발자는 이제 전력 효율적이고 전력 밀도가 높은 새로운 시대로 이동할 수 있습니다. 이 여정이 더 수월할 수 있도록 TI는 실시간 디지털 전원 제어, 파워 일렉트로닉스, 하드웨어 및 소프트웨어 분야에서 25년간 쌓은 경험을 끌어 모아 충분히 검증되고 문서화된 레퍼런스 디자인을 만들었습니다.

기타 리소스

- 레퍼런스 디자인
 - [C2000 실시간 MCU를 사용하는 양방향 고밀도 GaN CCM 토렘 풀 PFC 레퍼런스 디자인](#)
 - [고효율, 1.6kW 고밀도 GaN 기반 1MHz CrM 토렘 풀 PFC 변환기 레퍼런스 디자인](#)
 - [고효율 GaN CCM 토렘 풀 브리지리스 PFC 레퍼런스 디자인](#)
 - [C2000 실시간 MCU를 사용하는 비엔나 정류기 기반 3상 역률 보정 레퍼런스 디자인](#)
- 문서
 - [사용 조건에서 전력선 서지에 대한 GaN FET 안정성을 확인하는 새로운 접근 방식](#)

- [토템 폴 PFC에 대해 AC 제로 크로싱에서 전류 스파이크를 줄이는 방법](#)
- 교육
 - [C2000 디지털 전원 교육 시리즈](#)
 - [CLB 교육 시리즈](#)
- 평가 키트
 - TMS320F28002x controlCARD 평가 모듈: <https://www.ti.com/tool/TMDSCNCD280025C>
 - LMG3422R030 600V 30mΩ 하프 브리지 도터 카드: <https://www.ti.com/tool/LMG3422EVM-043>
 - ISO7741-Q1 평가 모듈: <https://www.ti.com/tool/ISO7741EVM>
- 소프트웨어 툴
 - [C2000Ware MATLAB® VisSim 임베디드 코더](#)

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.

플랫폼 바, HotRod 및 PowerCSP는 텍사스 인스트루먼트의 상표입니다. 기타 모든 상표는 해당 소유자의 재산입니다.

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, 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 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 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.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2021, Texas Instruments Incorporated