

고성능 통합 파워트레인 솔루션: EV 도입의 핵심



Nagarajan Sridhar

마케팅 관리자
고전압 전력, 고전력 드라이버
텍사스 인스트루먼트

TI POWER

이 기술백서에서는 통합 파워트레인 솔루션을 사용하여 파워 일렉트로닉스를 통해 전기 자동차 채택 속도를 높일 경우의 이점을 검토합니다. 와이드 밴드갭 반도체 스위치와 절연 게이트 드라이버의 도입을 집중 조명하여 파워트레인 통합의 중요성을 보여줍니다.

한눈에 보기

파워트레인 통합은 전기차가 대량 판매 시장에 채택되도록 하는 데 매우 중요합니다.

- 1 성능 향상: 전력 밀도 증가**
고급 진단 및 보호 기능을 갖춘 절연 게이트 드라이버는 통합 및 낮은 비용을 가능하게 합니다.
- 2 와이드 밴드갭 반도체 장치: 자동차 시장의 획기적 기술**
전원 스위치에 SiC(실리콘 카바이드) 및 GaN(질화 갈륨)을 사용함에 따라 전기차의 효율성이 더 높아졌습니다.
- 3 시스템 차원의 통합 파워트레인 솔루션**
하나의 장치에서 파워트레인 시스템으로 비용을 낮추고 보드 공간을 최대화합니다.

하이브리드 전기차(HEV)와 전기차(EV)가 점점 더 많이 출시됨에 따라 자동차 제조업체는 차량 파워트레인의 전기화를 늘리고 있습니다. 이산화탄소 배출을 억제하려는 전 세계적 규제로 인해 HEV/EV 판매량이 연간 20%~25% 증가하고 있으며[1] 2030년까지 판매되는 차량의 20%~25%를 차지할 것으로 예상됩니다[2]. 또한 HEV/EV를 사용하는 소비자가 늘어남에 따라 성능이 향상되고 주행 범위가 더 긴 에너지 효율적이고 강력한 소형 시스템에 대한 요구가 더 커졌습니다.

여기에서 가장 큰 문제 중 하나는 대량 판매 시장 채택을 가능하게 하고 자동차 회사의 낮은 수익성을 해결하기 위해 더 합리적인 비용의 HEV/EV를 제작하는 것입니다. 현재 소형 및

중형 EV의 평균 가격은 유사한 내연 기관 차량보다 약 \$12,000 더 높습니다[3].

처음에는 이 가격 차이가 오로지 배터리 비용 때문으로 생각되었습니다. 사실 배터리 비용은 향후 크게 낮아질 수 있습니다. 그러나 최근의 상세한 비즈니스 모델은 가격을 낮추고 [3] OEM 제조업체가 수익성 있는 HEV/EV 판매를 할 수 있도록 시간을 단축할 수 있는 다른 옵션들을 보여줍니다. 그중 한 옵션은 비용을 고려한 설계(DTC)로, 파워 일렉트로닉스 부품을 서로 가깝게 배치하여 부품 수를 줄이고 더 적은 수의 박스에 부품을 통합하는 파워트레인 통합에 중점을 둡니다.

이 기술백서에서는 파워 일렉트로닉스에 DTC를 도입하여 OEM이 대량 판매 시장 채택을 달성할 수 있는 방법을 살펴보겠습니다. 우선 파워 일렉트로닉스의 진보를 통해 어떻게 파워트레인 시스템에서 DTC 감소를 꾀하는 동시에 소비자의 '주행거리 불안'을 덜어줄 수 있었는지 설명하는 것부터 시작해서, 반도체 집적 회로(IC)와 전력 장치 콘텐츠의 최적화를 특히 중점으로 하여 DTC에 도달하도록 설계된 시스템 차원의 통합 파워트레인 솔루션을 설명하겠습니다.

주행거리 불안 해결하기

주행거리 불안은 HEV 및 EV를 구입하려는 소비자의 가장 큰 우려 사항입니다. 2020년에 여러 EV가 200마일 넘는 주행거리로 출시될 예정입니다[4]. 여러 다양한 OEM의 이러한 EV 모델이 갖는 공통점은 높은 주행거리를 위해 배터리 스택 및 패키징을 최적화하는 철저한 파워트레인 플랫폼 설계입니다. 배터리 스택이 높을수록 전압과 마력이 더 높아집니다.

최신 EV의 배터리 전압은 일반적으로 약 400V이지만, 특히 고급형 EV에서 더 높은 마력을 얻으려면 배터리 전압을 800V로 늘려야 합니다. 전압이 높을수록 동일한 전류에 대한 마력이 더 높아집니다. 배터리 스택 및 패키징의 최적화를 통해 작은

공간과 더 낮은 DTC를 달성할 수 있습니다.

또한, 높은 전력이 부족하면 열 발산이 줄어들기 때문에 더 높은 전압은 동일한 전력량에 대한 효율성을 높입니다. 더 낮은 케이블 직경과 무게는 결과적으로 DTC를 낮춥니다.

성능 향상: 전력 밀도 증가

파워트레인의 전력 효율성과 크기에 따라 HEV 또는 EV의 성능이 결정됩니다. 전체 크기에 대한 전력 효율성의 비율, 즉 전력 밀도는 전력 관리 분야의 핵심 성능 지수입니다. 목표는 더 높은 수준의 전력 밀도를 달성하는 것입니다. EV 업계는 가장 작은 공간에서 가장 높은 효율성을 달성하기 위해 통합을 통해 이 목표를 파워트레인 시스템으로 확장하고 있습니다. 이 맥락에서 '작은 공간'은 DTC에 긍정적인 영향을 미치는 더 작은 PCB(인쇄 회로 보드) 공간 및 케이싱 재료를 의미합니다.

파워 일렉트로닉스 차원에서 온보드 충전기(OBC), DC/DC 컨버터(고전압-저전압), 트랙션 인버터를 비롯한 파워트레인 하위 시스템의 토폴로지/아키텍처, 통합 IC 솔루션 및 반도체 전원 스위치의 상당한 변화가 있었습니다. **그림 1**은 HEV/EV의 파워트레인 시스템의 일반적인 블록 다이어그램을 보여 줍니다.

반도체 전원 스위치의 변화가 주는 영향과 효율적인 파워 일렉트로닉스 아키텍처에 필요한 기능을 IC에 통합하는 방법에 대해 살펴보겠습니다. 이는 시스템 차원에서의 통합 파워트레인 솔루션의 기본입니다.

와이드 밴드갭 반도체 장치: 자동차 시장의 획기적 기술

파워 일렉트로닉스는 까다로운 전력 밀도 요구 사항을

충족하려는 시도에서 매우 중요한 역할을 합니다. 파워 일렉트로닉스 내부의 전력 반도체 장치에는 반드시 다음 요소가 있어야 합니다.

- 더 낮은 전력 손실.
- 고주파 작동.
- 더 높은 접합부 온도.
- 고전압 작동.
- 증가한 방열.

전원 스위치에 SiC 및 GaN을 사용하는 와이드 밴드갭 반도체와 같은 첨단 고전압 장치의 통합을 통해 HEV/EV는 파워 실리콘 MOSFET(금속 산화막 반도체 전계 효과 트랜지스터) 및 IGBT(절연 게이트 양극성 트랜지스터) 같은 기존의 실리콘 기반 전원 스위치보다 더 높은 효율성을 달성할 수 있습니다.

파워 실리콘 MOSFET 및 IGBT는 최대 작동 온도(허용 가능한 접합부 온도라고도 함)에 제한이 있기 때문에, 전력 수준이 높아짐에 따라 파워 실리콘 MOSFET 또는 IGBT의 열 관리가 어려워집니다. 이러한 제한으로 인해 파워트레인 시스템에는 냉각수 통로가 있는 대형 구리 블록과 같은 냉각 부품이 추가로 필요합니다. 전력 수준이 100kW보다 높아질 수 있는 트랙션 인버터에서는 특히 더 그렇습니다. 냉각 부품을 추가하면 차량의 크기, 무게 및 비용에 영향을 미칩니다. 반대로, SiC는 허용 가능한 접합부 온도가 훨씬 높습니다. 또한 SiC의 열전도율은 실리콘보다 2~3배 더 높습니다[4]. SiC의 높은 접합부 온도와 높은 열전도율의 조합은 대형 구리 블록과 냉각수 통로의 필요성을 없애기 때문에 파워트레인 시스템에 사용하기에 적합한 후보입니다. OBC 및 DC/DC 컨버터에 GaN을 사용해도 수백 킬로헤르츠를 메가헤르츠 주행거리로 전환할 수 있기 때문에 자석, 커패시터 같은 수동 부품의 수를 크게 줄일 수 있습니다.

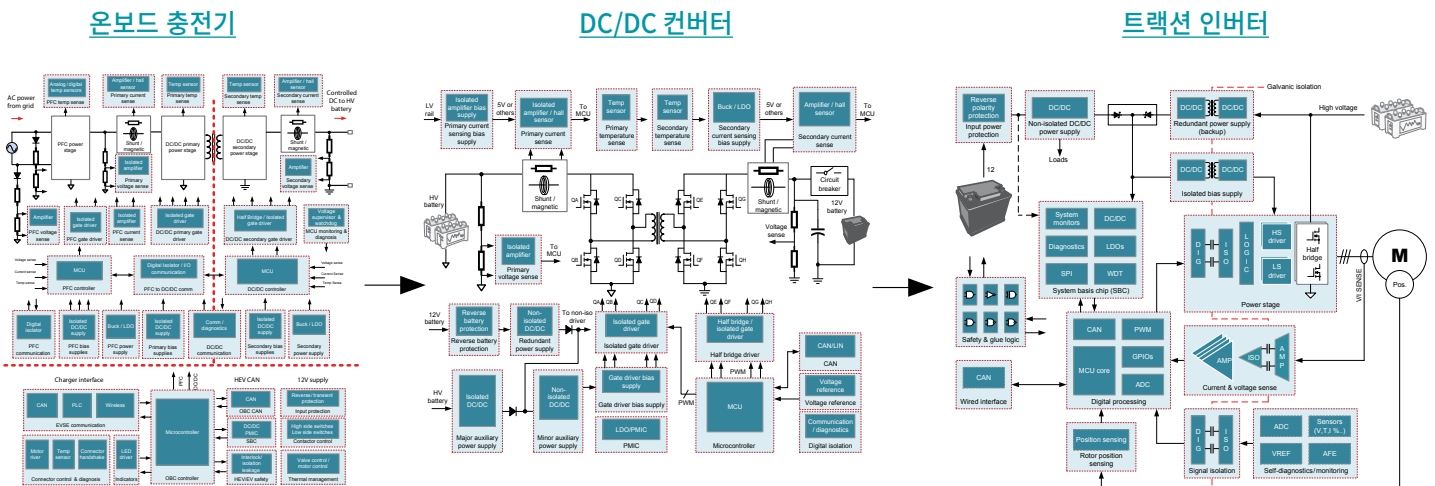


그림 1. HEV/EV의 파워트레인 시스템의 블록 다이어그램.

여러 자동차 회사는 이미 HEV/EV 파워트레인 설계에 와이드 밴드갭 솔루션을 포함하여 마력, 효율성 및 배터리 전압을 더 높이고 있습니다. 또한 와이드 밴드갭 솔루션의 향상된 열 관리 및 크기 감소의 이점을 통해 DTC를 낮출 수도 있습니다. 현재 와이드 밴드갭 스위치의 가격은 비싸지만, 시간이 지남에 따라 가격이 낮아질 것입니다. 시스템 차원에서는, 냉각을 위한 기계 블록, 수동 부품 및 케이싱 재료의 양을 없애거나 최소화하여 DTC를 낮출 수 있습니다.

전원 스위치를 작동하기 위한 절연 게이트 드라이버 IC

파워트레인 시스템 아키텍처에는 전원 시스템을 효율적으로 구동하기 위한 절연 게이트 드라이버가 필요합니다. 절연 게이트 드라이버는 컨트롤러의 펄스폭 변조 신호를 게이트 펄스로 변환하여 전원 스위치를 켜거나 끕니다. 배터리와 연결된 높은 전압 때문에 컨트롤러(1차측)와 전원 스위치(2차측) 사이에 갈바닉 절연이 필요합니다.

갈바닉 절연은 전기 시스템의 기능 섹션을 절연하여 직류 또는 통제되지 않은 과도 전류가 섹션 사이에서 흐르는 것을 방지하는 기술입니다. 하지만 데이터와 에너지는 이 갈바닉 절연 장벽을 통과해야 합니다. 정전식 절연은 인코딩 및 디코딩 입력 전류를 위한 디지털 회로가 절연 장벽을 통과하도록 하는 핵심 절연 기술입니다[5, 6].

정전식 절연은 데이터 전송률과 노이즈 내성(150V/ns 이상의 공통 모드 과도 내성[CMTI]이라고도 함)이 높아서 절연 게이트 드라이버의 절연 장벽을 구현할 때 선호되는 방식이며, 와이드 밴드갭 솔루션에서 잠재적인 스위칭 기능을 실현하는 데 도움이 될 수 있습니다. 파워트레인은 소음과 진동이 심합니다. 따라서 CMTI가 있는 게이트 드라이버가 있는 것이 좋습니다. 또한, 절연 게이트 드라이버는 펄스 변압기 또는 외장 개별 절연기를 통해 PCB 공간과 차량 비용 및 무게를 줄여줍니다.

절연 게이트 드라이버 통합: 시스템 차원의 기능 안전 및 더 낮은 DTC의 핵심 측면

시스템 차원에서 블랙박스로 보면 파워트레인 시스템에는 세 가지 반도체 구성 요소인 디지털 컨트롤러(마이크로컨트롤러), 절연 게이트 드라이버, 전력 반도체가 있습니다.

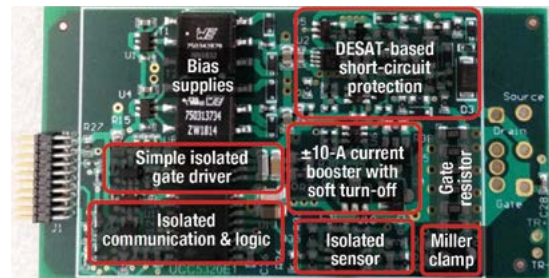
고효율 시스템에 필요한 핵심 기능 외에도, 가장 높은 기능 안전 수준에서 개발하는 파워트레인 시스템 진단 및 보호의 필요성이 증가함에 따라 절연 게이트 드라이버는 최근 주요 구성 요소가

되었습니다. 모니터링과 보호가 지능적으로 이루어져야 하며, 게이트 드라이버에 이러한 기능을 통합하는 것이 인기 있는 솔루션이 되고 있습니다.

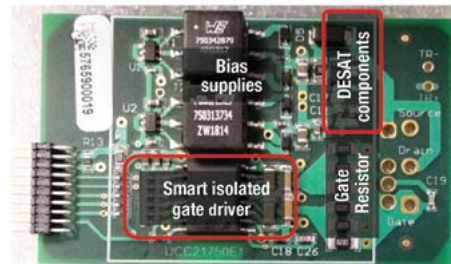
FIT(시간당 고장) 비율은 가장 높은 수준의 차량 안전 무결성을 달성하기 위한 핵심 기준으로 간주됩니다. 예를 들어 ASIL D 호환 시스템을 달성하려면 FIT 비율이 10 미만이어야 합니다. 이러한 ASIL 수준은 트랙션 인버터에서 매우 일반적입니다. 트랙션 인버터는 모터를 회전시켜서 차량의 바퀴를 움직이게 합니다. 유사한 ASIL 요구 사항(일반적으로 ASIL B 또는 ASIL C)은 이제 OBC 및 DC/DC 컨버터의 요구 사항도 되고 있습니다.

그림 2에 나와 있듯이, 가능한 한 가장 낮은 FIT 비율을 달성하기 위해 기존에는 시스템에서 개별적으로 배치되었던 진단 및 보호를 위한 모든 기능이 이제는 절연 게이트 드라이버 안에 통합되고 있습니다. 이는 부품 및 PCB 공간의 수를 크게 줄여서 직접적으로 더 낮은 DTC를 가능하게 합니다. TI는 최근 고급 수준의 진단 및 보호를 제공하는 UCC5870-Q1을 선보였습니다. 다음 페이지의 **그림 3**에 나와 있듯이, 이 장치는 부품 감소의 큰 이점을 통해 트랙션 인버터 시스템에 더 낮은 DTC와 원하는 ASIL 수준을 달성하는 능력을 제공합니다.

단순한 절연 게이트 드라이버를 사용하는 전력계



스마트한 절연 게이트 드라이버를 사용하는 전력계



절연 게이트 드라이버의 통합 기능은 다음을 구현합니다.

- 시스템 비용 대폭 절감
- PCB 면적 2배 축소

그림 2. 통합의 장점.

다른 아이디어에는 DTC를 크게 낮출 수 있는 통합 변압기 바이어스 전원 IC가 포함되며, 이는 트랙션 인버터, OBC 및 DC/DC 컨버터에 적용 가능합니다.

시스템 차원에서의 통합 파워트레인 솔루션

수년간 파워트레인의 개별 하위 시스템의 통합, DTC 감소, 전력 밀도 개선에 초점을 맞췄습니다. OEM은 여기서 한 단계 더 나아가 IC 업계의 시스템 온 칩 개념과 유사하게 전체 파워트레인 시스템을 하나의 장치로 통합하여 비용을 더 낮추고 있습니다. 지금까지, 첫 번째 단계는 OBC 및 DC/DC 하위 시스템을 하나의 박스에 결합하고 트랙션 인버터 및 DC/DC 하위 시스템을 하나의 박스에 결합하는 것이었습니다. 새 플랫폼은 세 개의 하위 시스템 모두를 하나의 박스에 결합합니다. 구성과 관계없이, 통합 파워트레인 개념은 파워트레인 시스템의 전체 무게를 크게 줄이고, 출력 대 중량 비율을 늘리고, 하위 시스템 사이의 케이블을 제거하고, DTC 목표를 달성할 수 있습니다. 연구와 프로토타입을 통해 비용을 최대 15% 절감했습니다[7]. 반도체 구성 요소 수준에서의 게이트 드라이버 통합 외에도, 이러한 하위 시스템 간에 MCU를 공유하면 파워트레인 시스템의 총 가격을 더 낮출 수 있습니다. 파워트레인 통합은 어셈블리 비용, 빌드 및 검증 시간을 줄여서 OEM의 총 소유 비용과 출시 시간을 줄입니다. 그러나, 기존 설계 제조 소싱의 유연성이 떨어진다는 단점이 있습니다.

마무리

HEV 및 HEV 시장은 빠르게 성장하고 있으며 더 긴 주행거리와 높은 성능을 달성하여 기존에 고객이 가졌던 회의적인 생각을 바꾸고 있는 것처럼 보입니다. 이 시장의 추가 성장은 고객이 비용적인 면을 감당할 수 있고 OEM은 수익을 낼 수 있는 HEV와 EV를 만들기 위한 비용 절감에 달려 있습니다.

DTC 모델에는 파워트레인 하위 시스템의 파워 일렉트로닉스에서 비용을 줄이려는 노력이 포함되어 있습니다. SiC, GaN 등의 와이드 밴드갭 전원 스위치 외에도, 절연 게이트 드라이버가 OEM이 부품 통합을 통해 비용을 줄이고 높은 기능 안전 수준을 달성할 수 있도록 하는 핵심 구성 요소로 떠올랐습니다. TI에서 새롭게 출시한 게이트 드라이버인 UCC5870-Q1이 솔루션을 제공합니다.

이 통합 개념을 다음 단계로 이끌어주는 것이 OBC, DC/DC 컨버터 및 트랙션 인버터를 하나의 솔루션으로 결합하는 새로운 트렌드입니다. 이를 통해 비용을 줄이고 출력 대 중량 비율에 도움이 될 수 있습니다.

기타 리소스

1. Anwar, Asif. [HEV-EV 반도체 기술 전망: SiC와 GaN은 어떤 역할을 하는가?](#) 전략 분석 예측 전망, 2019년 7월 17일.
2. Erriquez, Mauro; Morel, Thomas; Mouliere, Pierre-Yves; Schafer, Philip. [전기차 설계 동향](#). McKinsey & Co., McKinsey Center for Future Mobility, 2017년 10월 25일.

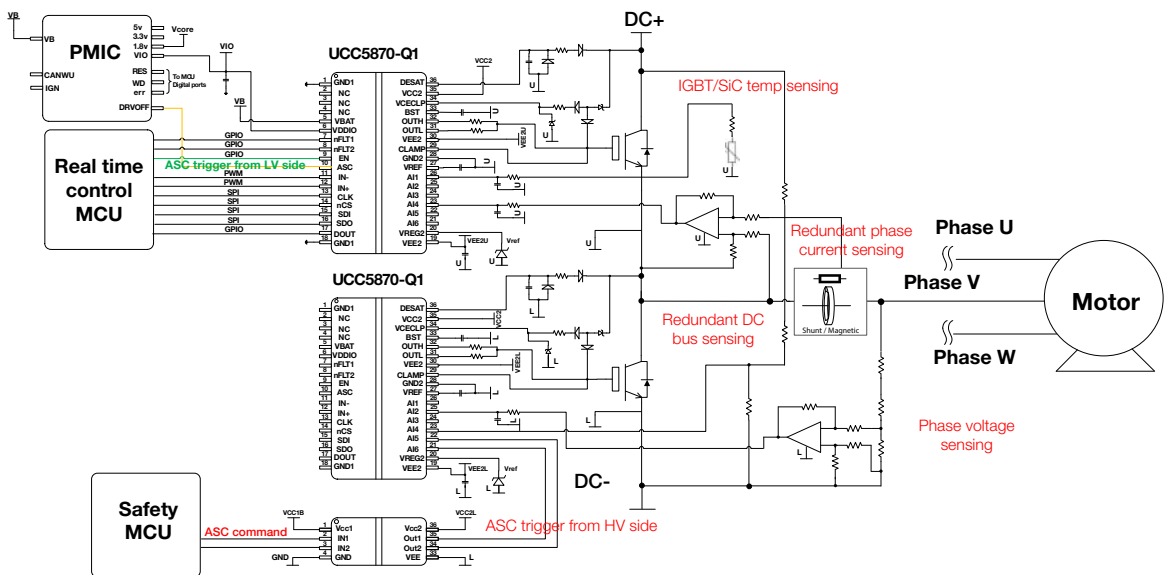


그림 3 UCC5870-Q1의 장점.

3. Baik, Yeon; Hensley, Russell; Hertzke, Patrick; Knupfer, Stefan. [수익성 있는 전기차 만들기](#). McKinsey & Co., McKinsey Center for Future Mobility, 2019년 3월 8일.
4. Sridhar, Nagarajan. 실리콘 카바이드 게이트 드라이버 – 파워 일렉트로닉스의 획기적 기술, 텍사스 인스트루먼트 백서 SLYY139A, 2019.
5. Bonifield, Tom. [고전압 신호 절연 품질 및 안정성 구현](#). 텍사스 인스트루먼트 백서 SSZY028, 2017년.
6. Sridhar, Nagarajan. [절연 게이트 드라이버의 영향](#). 텍사스 인스트루먼트 백서 SLYY140A, 2019년.
7. Muhlberg, Gunter, Dr. Hackmann, Wilhelm, Buzziol Kai. 고도로 통합된 전기 파워트레인, ATZ elektronik worldwide, 2017년 4월.

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 각 소유권자의 자산입니다.

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