

전기차 시스템 혁신을 이끄는 GaN 기술

TI의 고도로 통합된 질화 갈륨(GaN) 솔루션은 하이브리드차(HEV) 및 전기차(EV)를 더 빠르게 충전하고 주행거리를 늘려 전기차 보급을 앞당기는 데 기여한다.

글 | 라마난 나타라잔 (Ramanan Natarajan), TI 마케팅 & 애플리케이션 매니저

TI의 고도로 통합된 질화 갈륨(GaN) 솔루션은 하이브리드차(HEV) 및 전기차(EV)를 더 빠르게 충전하고 주행거리를 늘려 전기차 보급을 앞당기는 데 기여한다. HEV/EV 전원 관리 기술의 효율을 높이는 집적회로(IC)가 개발될수록 제조사들은 더 효율적이면서 경제성 뛰어난 자동차를 설계할 수 있으며, 배기가스 배출을 줄이고 환경을 보호할 수 있다.

주행거리에 대한 걱정, 오랜 충전 시간, 찾기 어려운 충전소 등 여러 요인들로 인해 많은 운전자들이 전통적인 자동차에서 하이브리드 전기차나 전기차(HEV/EV)로 전환하는 것을 주저해왔다. 하지만 기술의 발전과 함께 상황이 점차 달라지고 있다.

HEV/EV에 TI의 최신 차량용 질화 갈륨(GaN) 전원 관리 기술을 사용하면 기존의 실리콘 기반 충전 기술을 사용하는 차량 시스템보다 더 빠르게 충전하고, 더 긴 거리를 주행할 수 있어 HEV/EV의 대중적 보급을 가속화할 수 있다. 또한, HEV/EV는 자동차의 배기가스 배출을 줄임으로써 전 세계적으로 공기 질을 개선하고 환경을 보호한다.

TI 고전압 전원 사업부 부사장 겸 총괄 책임자 스티브 램바우세스(Steve Lambouses)는 “고객들은 자동차의 무

게나 비용을 크게 늘리지 않으면서 전력을 추가할 수 있기를 원한다. 고도로 통합된 TI의 GaN 솔루션을 사용함으로써 차량 엔지니어들은 신뢰할 수 있고, 경제성 뛰어나며, 전력 측면에서 보다 효율적인 충전 시스템을 개발할 수 있다. 이러한 시스템은 진정한 게임 체인저로서 큰 변화를 가져올 것”이라고 말했다.

신뢰할 수 있는 전원 관리 기술

GaN은 범용성이 매우 우수한 반도체 소재로서 높은 온도와 높은 전압에서도 동작할 수 있다. 이러한 이점은 발광 다이오드, 태양광 인버터, 재생 에너지 저장 시스템 같은 전원 관리 애플리케이션에서 특히 중요하다. TI의 GaN 제품들은 지금까지 다양한 통신 및 산업용 설계에 채택되어 왔으며, 매년 새로운 제품을 출시할 때마다 개선된 전력 밀도와 효율을 제공해왔다. TI는 이제 더 나아가 자동차 시장에서도 GaN의 이점을 활용할 수 있도록 했다. 업계 최초로 전기차 온보드 충전 시스템을 위한 차량용 제품을 내놓은 것이다.

TI의 GaN 제품은 기존 실리콘이나 최신 실리콘 카바이드(SiC) 기술보다 유리한 이점들을 HEV/EV에 제공한다.

“ TI's highly integrated GaN solution gives automotive designers the ability to develop charging systems that are more dependable, more affordable and that use power much more efficiently. That's a real game-changer. ”

- Steve Lambouses,
vice president and general manager
of High Voltage Power

TEXAS INSTRUMENTS

실리콘 기술은 충전 시 많은 열을 발생시키고, 낭비되는 에너지가 많으며, 충전 시간이 길다. TI의 GaN 제품은 고속 게이트 드라이버를 통합해서 두 배 높은 전력 출력이 가능해 실리콘 MOSFET보다 전력 밀도가 두 배 높고, 온보드 충전 아키텍처 설계를 최적화한다.

TI의 차량용 배터리 제품 사업 개발을 책임지고 있는 이보 마로코(Ivo Marocco)는 “효율적인 전원 관리를 위해서는 ▲정밀한 충전, ▲안정성이 높은 고도로 통합된 질화갈륨(GaN) 솔루션은 하이브리드차(HEV) 및 전기차(EV)를 더 빠르게 충전하고 주행거리를 늘려 전기차 보급을 앞당기는 데 기여한다.

신뢰할 수 있는 전원 관리 기술

GaN은 범용성이 매우 우수한 반도체 소재로서 높은 온도와 높은 전압에서도 동작할 수 있다. 이러한 이점은 발광 다이오드, 태양광 인버터, 재생 에너지 저장 시스템 같은 전원 관리 애플리케이션에서 특히 중요하다. TI의 GaN 제품들은 지금까지 다양한 통신 및 산업용 설계에 채택되어 왔으며, 매년 새로운 제품을 출시할 때마다 개선된 전력 밀도와 효율을 제공해왔다. TI는 이제 더 나아가 자동차 시장에서 GaN의 이점을 활용할 수 있도록 했다. 업계 최초로 전기차 온보드 충전 시스템을 위한 차량용 제품을 내놓은 것이다.

TI의 GaN 제품은 기존 실리콘이나 최신 실리콘 카바이드(SiC) 기술보다 유리한 이점들을 HEV/EV에 제공한다. 실리콘 기술은 충전 시 많은 열을 발생시키고, 낭비되는 에너지가 많으며, 충전 시간이 길다. TI의 GaN 제품은 고속 게이트 드라이버를 통합해서 두 배 높은 전력 출력이 가능해 실리콘 MOSFET보다 전력 밀도가 두 배 높고, 온보드 충전 아키텍처 설계를 최적화한다.

TI의 차량용 배터리 제품 사업 개발을 책임지고 있는 이

보 마로코(Ivo Marocco)는 “효율적인 전원 관리를 위해서는 ▲정밀한 충전, ▲안정성이 높은 배터리 시스템, ▲경제성 세 가지가 중요하다. 리튬이온 배터리는 자동차 가격의 약 30%를 차지하며, GaN 기반 솔루션은 전력 손실을 50%까지 줄임으로써 효율을 훨씬 높일 수 있다. TI의 GaN 기술은 이러한 모든 요구를 충족한다”고 말했다.

속도, 크기, 신뢰성 향상

소형 휴대용 컨슈머 디바이스와 노트북에서부터 대규모 데이터센터에 이르기까지 모든 분야에서 전원 관리가 갈수록 중요해지고 있다. 전기차도 예외는 아니다. IGBT나 MOSFET 같은 기존의 전력 스위칭 기술은 시간이 지나면서 성능이 크게 향상되기는 했으나, 크기 제약, 열 발생, 스위칭 속도 같은 문제들 때문에 설계자들이 애를 먹어 왔다.

모든 전원 관리는 스위칭을 통해서 이루어진다. 다시 말해서 전류를 켜다 켜다 하는 것이다. 비효율적인 스위칭은 전력 손실을 야기하고, 이로써 더 크고 무거운 전원 장치를 필요로 하게 된다. 그리고 손실되는 전력을 보상하기 위해서 더 긴 충전 시간이 요구된다. 신속하면서 정밀한 스위칭 기술은 더 매끄럽고 효율적인 에너지 흐름을 만들 수 있고, 결과적으로 시스템 크기와 비용을 감소시킨다.

“GaN은 스위칭 속도가 빨라 효율이 높기 때문에 자동차의 냉각을 위한 요구사항을 완화시킨다. 전원 장치 주변에 위치한 육중한 자기 소자들의 크기를 60%까지 줄일 수 있으므로 시스템 비용을 낮추고 전반적인 전력 밀도를 높일 수 있다. 이로써 궁극적으로 자동차 무게는 줄이고, 주행 거리는 늘릴 수 있다. 이것이 바로 GaN 기반 전원 관리 시스템이 제공할 수 있는 이점”이라고 스티브 램바우세스는 말했다.

전기차 온보드 충전 시스템에 GaN을 사용하면 기존 솔루션보다 최대 두 배 높은 전력 밀도, 빠른 배터리 충전 속도, 향상된 신뢰성, 더 높은 효율성을 달성할 수 있다. “GaN은 꽤 익숙한 소재로서 그 이점도 널리 잘 알려져 있다. 하지만 이제는 단지 이론에 그치지 않고 실제 자동차 애플리케이션에 GaN 기술을 활용할 수 있게 되었다”고 이보 마로코 책임자는 말했다.

고도로 통합된 GaN 솔루션으로 비용과 전력 절약

TI의 GaN 혁신은 일반적인 스위치를 훨씬 뛰어 넘는 성능을 달성한다. 이러한 혁신으로 탄생한 GaN 기반 온보드 충전 시스템은 HEV/EV의 보급을 가속화한다. 차량용 애플리케이션 분야의 축적된 전문성을 토대로 개발된 TI GaN 온보드 충전 시스템은 고유의 GaN-on-Si FET과 고속 스위칭 2.2MHz 실리콘 게이트 드라이버를 통합했다. 이로써 단일 칩으로 스위치, 컨트롤러, 보호 기능 등 고객들이 필요로 하는 모든 것을 제공한다.

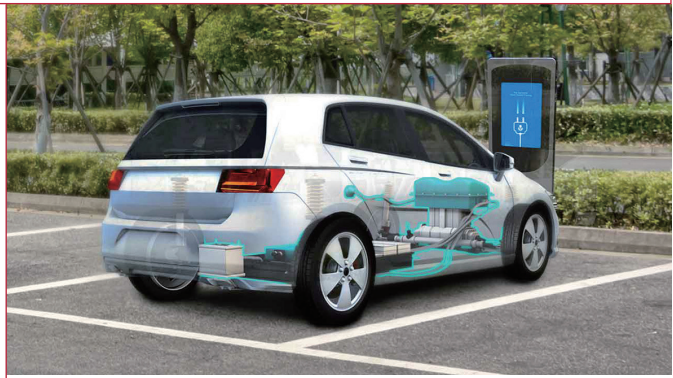
“이것은 마치 두뇌와 근육 모두를 제공하는 것에 비유할 수 있다. 스위치는 근육의 역할을 하고, GaN 디바이스로 통합된 컨트롤러가 지능을 제공함으로써, 개발자가 이 솔루션으로부터 최대의 성능을 끌어낼 수 있도록 한다”고 스티브 램바우세스는 말했다.

GaN 테스트 가이드라인

GaN과 와이드 밴드갭 트랜지스터는 구조나 소재가 실리콘 디바이스와 다르므로, 디바이스의 신뢰할 수 있는 동작이 가능한지 확인하기 위해서는 트랜지스터에 적합한 테스트 가이드라인을 따라야 한다. GaN의 신뢰성을 확인하고, 업계에서 이 기술이 널리 채택되도록 하기 위해서는 테스트 가이드라인을 충실히 따르는 것이 중요하다.

TI는 JEDEC의 JC-70 와이드 밴드갭 전력 전자 변환 반도체 위원회를 공동으로 창립했다. 이 위원회는 엔지니어들에게 견고한 설계를 구현할 수 있도록 유용한 지침을 제공하는 데 목적을 두고 있다. 이 위원회는 최근 GaN 만을 위한 새로운 스위칭 가이드라인으로서 “JEP180: GaN 전력 변환 디바이스의 스위칭 신뢰성 평가 절차에 관한 가이드라인”을 발표했다.

TI의 GaN 기술 혁신 설계자 스테파니 와츠 버틀러(Stephanie Watts Butler)는 “이 새로운 가이드라인은 엔지니어들이 스위칭 동작을 견고하게 평가할 수 있도록 정의하고 있어 업계에서 GaN이 더 널리 채택될 수 있도록 돕는다. 특히, 효율, 전력 밀도, 신뢰성을 무엇보다도 중요하게 요구하는 자동차 및 산업용 시장에 이점을 제공할 것”



이라고 전했다.

TI는 GaN 디바이스의 단기적 및 장기적 신뢰성을 검증하기 위해 4,000만 시간의 디바이스 신뢰성 테스트와 약 5기가와트시에 이르는 애플리케이션 내부 테스트를 실시해왔다. “GaN은 매우 정밀하게 튜닝할 수 있는 스위스 시계와 같다. TI는 신뢰성 테스트를 통해 GaN의 최대 성능을 끌어내는 방법을 알고 있다”고 스티브 램바우세스는 말했다.

안전하고, 스마트한 친환경 자동차

HEV/EV 매출이 연간 약 60%씩 빠르게 증가하고, 2025년에는 전체 자동차 매출의 30%를 차지할 것으로 자동차 업계는 전망하고 있다. 현재 HEV/EV 차량 대수는 560만대에 달한다. 또한, 미국에서 현재 약 25,000곳에 달하는 충전소의 개수도 큰 폭으로 증가할 것으로 예상된다.

“TI의 GaN 전원 관리 기술을 통해 ▲짧은 전기차 충전 시간, ▲높은 전력 밀도, ▲향상된 경제성, ▲길어진 주행 거리, ▲높은 신뢰성을 달성할 수 있다. 이로써 HEV/EV 보급을 가로막는 장애물을 제거하고 더 깨끗하고 푸른 지구를 만들도록 기여할 것”이라고 스티브 램바우세스는 말했다.

더 나은 세상을 만들기 위한 거듭된 기술 혁신

TI는 반도체를 통해 더 합리적인 가격의 전자 제품을 만들어서 더 나은 세상을 만들고자 하는 기술적 진보 정신에 준해 모든 전자기기에 반도체가 적용될 수 있도록 보다 높은 신뢰성과 효율성을 제공하는 기술 혁신을 거듭해왔다. HEV/EV 온보드 충전 시스템을 위한 TI의 고도로 통합된 GaN 기술은 TI의 기술혁신의 대표적인 예라고 할 수 있다.

차량용 GaN FET

전기차(EV) 도입을 가속화하고자 전 세계 자동차업체들이 소비자들이 가장 염려하는 주행 거리, 충전 시간, 가격대 등의 과제를 해결하면서 차량 크기와 무게, 부품 비용은 거의 또는 아예 늘리지 않으면서 배터리 용량을 높이고 더 빠르게 충전할 수 있는 솔루션을 개발하고자 노력하고 있다.

이에 따라 소비자들이 집이나 공공 장소 또는 상업 시설의 AC 전원에서 직접 배터리를 충전할 수 있는 전기차 온보드 충전기(OBC) 역시 급격하게 변화하고 있다. 빠른 충전 속도에 대한 요구가 높아지면서 전력 수준이 3.6kW에서 22kW로 높아졌고, 동시에 OBC는 기존의 기계식 엔벨로프에 들어맞으면서 항상 가지고 다닐 수 있지만 주행 거리에 영향을 주지 않아야 하는 요건을 충족해야 한다. 최근에는 OBC의 전력 밀도를 현재 2kW/L 미만에서 4kW/L 이상으로 높이고 있는 추세다.

스위칭 주파수의 영향

OBC는 기본적으로 스위치 모드 전원 컨버터다. 변압기, 인덕터, 필터, 커패시터 같은 수동 부품과 히트 싱크가 OBC의 무게와 크기 대부분을 차지한다. 스위칭 주파수를 높임으로써 수동 부품의 크기를 줄일 수 있다는 뜻이다. 하지만 스위칭 주파수를 높이면 전원 MOSFET(금속 산화막 반도체 전계 효과 트랜지스터) 및 IGBT(절연 게이트 양극성 트랜지스터) 같은 스위칭 소자에서 전력 손실이 증가한다.

크기를 줄이면서 부품 온도를 그대로 유지하기 위해서는 전력 손실을 추가로 낮춰야 한다. 크기가 줄어들면 열을 배출할 수 있는 표면적이 줄어들기 때문이다. 그렇기 때문에 전력 밀도를 높이려면 스위칭 주파수와 효율성을 동시에 높여야 한다. 바로 이 점이 실리콘 기반 전력 디바이스가 애를 먹어왔던 부분이다.

스위칭 속도(디바이스 단자들 사이 전압과 전류의 변화 속도)를 높이면 기본적으로 스위칭 에너지 손실을 낮출 수 있지만 실제로 가능한 최대 주파수는 제한적이다. 이 문제를 해결하기 위해서는 단자들 사이에 기생 커패시턴스가 낮고 회로 경로 배열에서 인덕턴스를 낮추도록 설계된 전력 디바이스를 사용해야 한다.

실리콘보다 더 낮은 손실과 더 높은 스위칭 속도

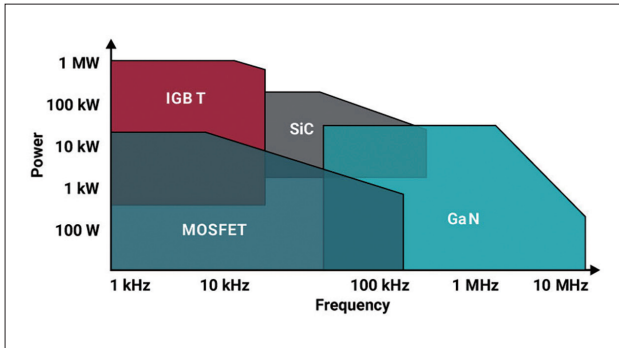
질화 갈륨(GaN)과 실리콘 카바이드(SiC) 같은 와이드 밴드갭 반도체를 사용한 전력 디바이스는 물리적 특성상 실리콘과 비교하여 ON 저항과 항복 전압은 비슷하지만 커패시턴스는 훨씬 낮다. 또한 항복이 발생하는 임계 전계가 더 높고(GaN이 실리콘과 비교해서 10배 높음) 전자 이동성이 더 높기 때문에(GaN이 실리콘과 비교해서 33%가량 높음) 실제로 ON 저항과 커패시턴스가 모두 더 낮다. 그러므로 GaN 및 SiC FET은 본질적으로 실리콘보다 더 낮은 손실과 더 높은 스위칭 속도로 동작할 수 있다.

특히 GaN은 다음과 같은 점에서 훨씬 유리하다.

- GaN은 게이트 커패시턴스가 낮으므로 하드 스위칭 시에 더 빠르게 턴온 및 턴오프가 가능하기 때문에 크로스오버 전력 손실을 낮출 수 있다. GaN의 게이트 전하 FOM(성능 지수)은 $1\text{nC}\Omega$ 이다.
- GaN은 출력 커패시턴스가 낮으므로 소프트 스위칭 시에 드레인-소스 전이를 재빨리 할 수 있다. 특히 낮은 부하(자화) 전류에서는 더욱 그런데, 예를 들어 일반적인 GaN FET은 출력 전하 FOM이 $5\text{nC}\Omega$ 인 데 반해 실리콘은 $25\text{nC}\Omega$ 이다. 그렇기 때문에 설계자들은 짧은 데드 타임과 낮은 자화 전류를 사용할 수 있으며, 이는 주파수를 높이고 순환 전력 손실을 줄이는 데 필요한 요소다.
- 실리콘 및 SiC 전원 MOSFET과 달리 GaN 트랜지스터는 본래 구조에 바디 다이오드가 없으므로 역복구 손실이 없다. 또한 수킬로와트에 이르는 토렘 폴 브리지 리스 PFC(역률 보정) 같은 새로운 고효율 아키텍처를 가능하게 하는데, 이는 이전에 실리콘 디바이스를 사용해서는 불가능했던 부분이다.

이 모든 장점 덕분에 설계자들은 그림 1과 같이 GaN을 사용함으로써 훨씬 높은 스위칭 주파수에서 높은 효율을 달성할 수 있게 되었다. 650V 정격의 GaN FET을 사용하면 서버 AC/DC 전원 장치, EV 고전압 DC/DC 컨버터, OBC 같이 최대 10kW에 이르는 애플리케이션 구현이 가능하다(병렬로 적층하면 22kW까지 가능). SiC 디바이스는 최대 1.2kV까지 제공되고 통전 용량이 높으므로, 전기차

그림 1. 매우 높은 주파수의 애플리케이션 구현 시 GaN이 모든 기술을 능가함



트랙션 인버터와 대형 3상 그리드 컨버터에 적합하다.

고주파수에서의 설계 과제

수백 볼트가 스위칭될 때 통상 10ns의 상승 및 하강 시간은 기생 부유 인덕턴스의 영향을 피하기 위해서 신중하게 설계할 필요가 있다. FET과 드라이버 사이의 공통 소스 인덕턴스와 게이트 루프 인덕턴스는 다음과 같은 중요한 역할을 한다.

- 공통 소스 인덕턴스는 드레인-소스 과도 전압(dV/dt) 및 과도 전류(dI/dt)를 제한하여 스위칭 속도를 저하시키고 하드 스위칭 시에는 중첩 손실을, 소프트 스위칭 시에는 전이 시간을 증가시킨다.
- 게이트 루프 인덕턴스는 게이트 전류 dI/dt를 제한하여 스위칭 속도를 감소시키고 하드 스위칭 시에 중첩 손실을 증가시킨다. 또 다른 부정적 영향으로는 밀러 턴온에 대한 취약성을 높이므로 추가 전력 손실 위험을 일으키고 게이트 절연체 전압 오버스트레스를 최소화해야 하는 설계 과제를 제기한다. 이를 적절히 줄이지 않으면 신뢰성이 떨어진다.

그 결과 엔지니어들은 페라이트 비드와 댐핑 저항을 사용해야 할 수도 있다. 하지만 이 경우 스위칭 속도를 낮추므로 주파수를 높이기 어렵게 된다. GaN 및 SiC 디바이스가 근본적으로 높은 주파수로 동작하기에 유리하지만, 이러한 이점을 최대한 실현하기 위해서는 시스템 차원의 설계 과제를 해결해야 한다. 사용 편의성, 견고성, 설계 유연성을 고려하여 영리하게 설계된 제품은 이 기술의 도입을 가속화할 것이다.

드라이버, 보호, 보고 및 전원 관리 기능을 통합한 GaN FET

텍사스 인스트루먼트의 완전 통합된 650V 차량용 GaN FET은 설계와 부품 선택과 관련된 어려움 없이 GaN의 고효율, 고주파 스위칭의 이점을 제공한다. 인덕턴스가 낮은 QFN(Quad Flat No Lead) 패키지에 GaN FET과 드라이버를 인접하게 통합함으로써 기생 게이트 루프 인덕턴스를 크게 낮춘다. 그 결과 게이트 스트레스와 기생 밀러 턴온에 대한 우려를 제거하는 한편 매우 낮은 공통 소스 인덕턴스로 빠른 스위칭이 가능하고 손실을 낮출 수 있다.

LMG3522R030-Q1은 TMS320F2838x 또는 TMS320F28004x 같은 C2000 실시간 마이크로 컨트롤러의 첨단 제어 기능과 결합하면 1MHz보다 높은 스위칭 주파수를 실현할 수 있다. 따라서 기존 실리콘이나 SiC 솔루션과 비교하여 자기 소자의 크기를 59%까지 줄일 수 있다.

100V/ns 미만으로 확인된 드레인-소스 슬루율은 개별 FET보다 스위칭 손실을 67%까지 줄일 수 있다. 30V/ns~150V/ns 사이로 조절 가능해서 효율과 EMI(전자기 간섭) 사이의 절충이 가능하고 다운스트림 제품 설계의 위험을 낮출 수 있다. 또한 통합된 전류 보호 기능이 견고성을 제공하고, 디지털 PWM(펄스폭 변조) 온도 보고 기능, 동적 전력 관리를 위한 건전성 모니터링, 아이디얼 다이오드 모드(LMG3525R030-Q1에서 제공) 같은 새로운 기능을 포함한다. 아이디얼 다이오드 모드는 적응형 데드 타임 제어가 필요 없으며, 12mm x 12mm 상단 냉각 QFN 패키지는 향상된 열 관리를 지원한다.

4,000만 시간 이상의 디바이스 신뢰성 테스트를 거치고 10년간의 FIT(고장률)이 1 미만인 TI GaN 디바이스는 자동차업체들이 기대하는 견고성을 제공한다. 또한 TI의 GaN 디바이스는 널리 사용되는 실리콘 기판을 기반으로 하고 100% 내부 제조 시설에서 기존 프로세스 노드를 사용하여 제조된다. 그렇기 때문에, SiC 또는 사파이어 기판을 기반으로 하는 다른 기술과 달리 공급망과 비용 측면에서 확실한 우위를 제공한다. 차량용 GaN FET에 대한 자세한 내용은 TI GaN 링크에서 확인할 수 있다. [SN](#)