



소형 전력 모듈로 차량의 전동화 가속

자료제공 | 바이코 기술부

개요

자 동차 시장의 트랙션 전력에 대한 접근방식은 복잡하면서도 빠르게 변화하고 있다. 내연기관(ICE: Internal Combustion Engine) 차량이 여전히 시장에서 독보적인 입지를 유지하고 있지만, 순수 배터리 전기자동차(BEV: Battery Electric Vehicle)와 플러그인 하이브리드 전기자동차(PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle)가 전기자동차 판매량을 빠르게 이끌고 있다. 영국의 경우, 2021년 12월까지 등록된 전기자동차가 740,000대를 넘어섰으며, 이는 2020년보다 74% 증가한 수치이다.

이러한 변화는 계속되고 있다. 업계에서는 2030년까지 전기자동차가 전 세계 자동차 생산량의 62%를 차지할 것으로 예상하고 있다. 이러한 움직임은 정부의 입법조치와 OEM의 규정준수 전략, 그리고 무엇보다 소비자들의 수요 증가에 의해 촉발되고 있다.

또 다른 변화는 차량의 전기 서브시스템 전력 부하가 최근 몇 년 사이 20배 이상 급격히 증가했다는 점이다. 이로 인해 기하급수적으로 증가하는 전력 요구를 효율적으로 처리하는 동시에, 12V 레거시 시스템을 지원할 수 있는 48V 시스템에 대한 관심이 더욱 높아지고

있다.

이는 OEM 업체들에게 상당한 도전과제가 되고 있다. 이들은 상업적으로나 기술적으로 효과적인 전력 분배 네트워크(PDN: Power Delivery Network)를 구축하여 점점 증가하는 매우 광범위한 전력 처리량을 수용하고, 변화하는 시장의 요구에 대응해야 하는 압박에 직면해 있다. 또한 xEV 차량을 개발하는 동시에, ICE 차량 생산도 유지해야 한다.

차세대 전기자동차의 전력 공급

오늘날 급속도로 증가하는 전력 처리량 목표를 달성

하기 위해서는 매우 높은 전력밀도와 효율성이 요구된다. 높은 성능의 전력을 유지하면서 전력 시스템의 크기와 무게를 최소화할 수 있어야 한다. 또한 OEM 업체들이 변화하는 요구사항에 쉽게 적응하여 최대한 신속하게 차량을 시장에 출시할 수 있도록 유연성과 확장성 및 재사용이 가능해야 한다.

이러한 목표를 달성할 수 있는 최상의 방법은 전력밀도가 높은 소형, 경량의 효율적인 모듈을 이용한 모듈식 접근방식을 채택하는 것이다. 본고에서는 차량의 전력 분배 네트워크와 관련한 설계자들이 직면하고 있는 다양한 문제들과 바이코의 전력 모듈을 통해 이러한 문제를 해결할 수 있는 방법에 대해 살펴본다. **SN**

차량의 전동화 경쟁에서 승리하기 위해 무엇이 필요한가

글 | 패트릭 웨덴(Patrick Wadden), 바이코 자동차 사업 개발 담당 부사장

1

자동차 제조업체들은 지난 수년 동안 더 많은 전력 요구를 충족시키기 위해 끊임없이 도전해 왔다. 1950년대 중반까지의 초기 자동차들은 6V 배터리로 구동되었으며, 이후 자동차 시스템은 계속해서 증가하는 더 많은 전력 요구를 충족시키기 위해 12V 전원으로 발

전했다. 당시 자동차 제조업체는 창문과 스티어링 및 시트는 물론, 더 많은 전력을 필요로 하는 새로운 고압 엔진에 대한 새로운 전력분배 요건에 대처해야 했다.

최근에는 CO2 배기가스 규제준수가 표준화되면서 OEM 업체들은 자동차의 전원 공급 방식을 재고하고 있

다. OEM들이 이러한 표준을 충족하기 위해 차량의 전동화를 추진하고 있지만, 모터뿐만 아니라 차량의 모든 서브 시스템까지 적절하게 전력을 공급할 수 있는 접근 방식은 아직 등장하지 않았다.

전력 요건이 엄청나게 증가하면서 이러한 접근 방식에 대한 명확한 정의는 더욱 어려워지고 있다. 내연기관이 장착된 자동차는 일반적으로 600W에서 3kW 사이의 전력을 필요로 한다. 하지만 새로운 전동화 EV, HEV, PHEV 자동차(xEV)는 3kW에서 60kW 이상에 이르는 전력을 필요로 하며, 이는 5배에서 20배 이상에 해당하는 전력 규모이다.

전력이 5배 ~ 20배 증가하면, PDN(Power Deliver Network)의 크기와 무게, 복잡성이 증가하면서 차량에 엄청난 부담이 가해지게 된다. 크기와 무게가 늘어나면 차량의 기능에 대한 절충이 필요해지기 때문에 이는 에너지 효율성과 신뢰성, 편리성 및 안전성 등에 모두 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 자동차 제조업체들이 기존의 전력분배 방식을 계속 사용하게 되면, 모든 전기 요건을 수용할 수 있는 공간이 충분하지 않게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 엄청난 전력 증가에 대처할 수 있는 가볍고, 컴팩트할 뿐만 아니라 차중 전반에 걸쳐 유연하게 재사용할 수 있는 솔루션을 찾아야 한다.

또한 OEM 업체들은 향후 10년 동안 모든 차종을 완전히 전동화(그림 1)하기 위해 노력하고 있으며, 이러한 압박은 점차 가중되고 있다. 하지만 주요 기술적 해결과

제와 함께 이러한 목표를 달성할 수 있는 구체적인 방법은 여전히 의문으로 남아 있다. 전기자동차 시장에서 전동화를 표준화할 수 있는 명확한 방법은 없다. 따라서 OEM들은 모두 같은 목표로 나아가고 있지만, PDN 설계 방식은 각기 다르게 구현될 것이다.

전동화 모멘텀 강화

수년 동안 전세계 EV 생산량은 전체 자동차 생산량의 1% 미만에 불과했다. 크레디트 스위스(Credit Suisse)의 글로벌 자동차 연구(Global Auto Research) 팀에 따르면, 이 수치는 2020년 11%에서 2030년 62%로 크게 증가해 전세계적으로 6,300만대를 넘어설 것으로 예상되고 있다. 이 중 거의 절반에 해당하는 2,900만대는 완전 전기차량이 될 것으로 전망되고 있다.

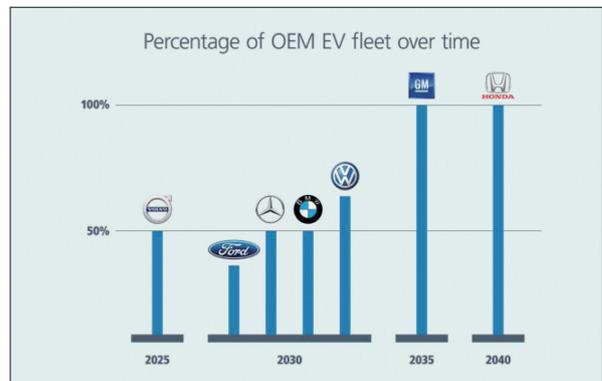
전기 차량의 폭발적인 성장을 주도하는 요인은 무엇일까? 배기가스 규제와 정부의 인센티브가 이를 촉발시키기는 했지만, OEM 이 전기자동차를 틈새 시장에서 주류용으로 전환하고 있는 것은 소비자의 수요가 가파르게 증가하고 있기 때문이다. 이를 위해 OEM 업체들은 현재 공격적인 행보를 이어가고 있다(그림 2).

OEM 업체들은 현재 가장 인기 있고, 판매량이 높은 차량의 일부를 전기자동차로 전환하고 있다. GM 허머(Hummer)와 신형 포드 마하 E(Ford Mach E, 전기 머스탱), 그리고 현재 주력 차종인 F150 LDT(Light-Duty

그림 1. BEV(Battery Electric Vehicle)는 2030년까지 전체 xEV 시장의 45%를 차지하게 될 것이다.



그림 2. OEM 업체들은 전 차종의 전동화를 위한 공격적인 목표를 설정했다. 이러한 목표는 세계적 수준의 xEV 플랫폼을 만드는 기폭제가 될 것이다.



Truck) 등이 전기차로 공급되고 있다. 이 모델들은 뛰어난 성능 향상과 세련된 디자인으로 대중의 주목을 받고 있다.

이러한 신형 차량들은 향상된 고속 충전 기술과 낮은 유지관리 및 보수 비용 등을 통해 소비자의 수요를 촉진하고, 전기자동차 채택을 증가시키는 촉매제가 되고 있다. 소비자들이 가치와 모멘텀에 중심을 두면서 수요는 계속 증가할 것이다.

고수익, 고성능 전동화 과제

수많은 차량 플랫폼과 소비자 옵션, 다양한 파워트레인 아키텍처, 그리고 각기 다른 배터리 및 충전 구성 등은 전 차종의 전동화 작업을 해결해야 하는 전력 시스템 설계자들의 복잡성을 가중시킨다.

차량의 전동화를 최적화하기 위해 OEM 업체들은 전력 레벨을 향상시키고, 전력분배 네트워크의 크기와 무게를 줄이는 것은 물론, 보다 개선된 열 관리와 재사용성을 제공해야 한다. 이를 위해 기존의 전력 시스템 설계 방식은 복잡한 맞춤형 디스크리트 기반의 설계에서 더 작고, 유연하고, 사용이 용이한 고밀도 모듈식 솔루션으로 전환되어야 한다.

전동화 가속

OEM 업체들은 자사의 공격적인 목표를 달성하기 위해 전력분배 아키텍처에 대한 접근방식을 재고해야 한다. 전동화를 가속화하고, 최적화하기 위해서는 고도의 효율적인 솔루션을 도입하는 것은 물론, 다음과 같은 3가지 주요 요구사항을 해결해야 한다.

- **전력밀도:** 고속 스포츠카나 경량 트럭(LDT) 또는 패밀리 카 등 어떤 차량을 설계하든, OEM은 제한된 공간에서 최대한 많은 전력을 공급할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 작고 효율적인 전력 솔루션이 필요하다.
- **유연성/확장성:** 차종에 따라 동일한 플랫폼을 사용하는 차량이 많기 때문에 세단이나 미니밴, SUV 간

의 전력을 수정할 때는 동일한 플랫폼을 공유하여 쉽게 전력을 확장하는 것이 필수적이다.

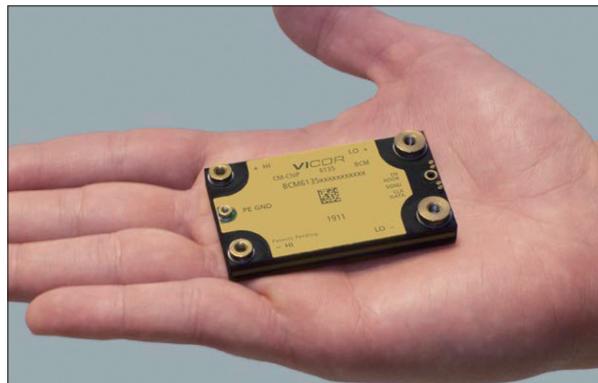
- **재사용성:** OEM 업체들은 모든 차종에 대한 전동화를 달성하기 위해 전력 설계를 여러 모델에 재사용하여 시장 출시시간을 단축할 수 있어야 한다.

(1) 전력밀도

다양한 xEV 플랫폼에 사용되는 전력전자 장치의 크기와 무게는 차량의 성능과 에너지 효율성 및 배터리 수명에 직접적인 영향을 미친다. OEM 업체들은 적극적으로 전력전자 장치의 크기와 무게를 줄임으로써 더 긴 주행거리와 빠른 속도를 달성하기 위해 노력하고 있다.

바이코의 68g에 불과한 98% 효율의 소형 버스 컨버터 모듈(BCM6135)은 EMI 필터링과 최적화된 냉각구조 및 25kg의 48V 배터리를 대체할 수 있는 인클로저를 쉽게 번들로 제공할 수 있다. 이를 통해 상당한 공간과 무게를 절감할 수 있으며, 이는 €125 ~ €250에 이르는 R&D 무게 감소 인센티브에 해당한다. 이 고밀도 전력 모듈은 소형 61 x 35 x 7mm 패키지로 2kW 이상의 전력을 공급할 수 있는 >4.3kW/in.3의 전력밀도로 400V ~ 800V 메인 배터리를 48V로 변환할 수 있다(그림 3)

그림 3. 전력분배 네트워크의 크기와 무게를 줄이는 것은 차세대 xEV 플랫폼의 필수 요소이다. 바이코의 전력 모듈인 2.5kW BCM6135는 손바닥 위에 올려 놓을 수 있는 크기이다.



(2) 유연성/확장성

OEM 설계자들은 차량 내에 통합되는 서브 시스템을 최대한 표준화하여 시간과 비용 및 자원을 절감하기 위

해 노력하고 있다. 그러나 각각의 시스템들은 차량의 마감 레벨에 따라 약간씩 다르고, 여러 설계가 필요하다.

또한 차량의 전동화가 계속 진화함에 따라 전력분배 요건이 변화하면서 전력 시스템 설계 팀은 상당한 어려움에 직면해 있다. 바이코가 제공하는 유연하고 확장 가능한 모듈식 전력 시스템 설계 방식은 설계자들이 SUV, 미니밴, 또는 경량 트럭과 같은 다양한 파워트레인에 표준화된 솔루션을 구현할 수 있도록 해준다.

예를 들어, 미니밴의 전력 요건은 5kW 정도이지만, 조명 바와 견인 및 제설 패키지과 AC 전원 스테이션을 장착한 경량 트럭은 10kW 정도가 필요할 수 있다. 엔지니어는 동일한 플랫폼과 약간의 추가 공간을 사용하여 사전 검증된 부품을 어레이에 신속하게 추가하거나 제거하여 전력을 높이거나 줄일 수 있다.

또한 모듈식 구현 방식을 통해 48V 버스의 분산형 전원 아키텍처를 지원함으로써 추가적인 유연성을 제공한다. 전원 모듈은 글로브 박스 뒤나 트렁크 근처 또는 각 휠 등 편리한 위치에 배치하여 로컬 48V/12V 변환이 가능하다. 모듈식 솔루션을 구축하면, 설계 유연성을 향상시킬 뿐만 아니라 전력 변경 및 제조 프로세스를 간소화할 수 있다.

그림 4. 전력밀도가 높은 4개의 모듈을 이용해 300가지 이상의 다양한 결합 방식으로 각기 다른 전력 요건과 다양한 종류의 부하를 지원할 수 있는 모듈식 방식의 이점을 보여준다.



(3) 재사용성

자동차 개발의 가장 일반적인 지연 문제 중 하나는 차량에 사용되는 전자장치의 구성요소에 대한 검증 및 승인이다. 이러한 프로세스는 종종 단일 구성요소에 대한 PPAP 및 검증에 최대 2~3년 정도 소요될 수 있다.

바이코의 모듈식 접근방식을 통해 엔지니어들은 3~4개의 다양한 유형의 확장 가능한 빌딩 블록 모듈을 사용하여 약 300개에 달하는 전력분배 조합을 달성할 수 있다.

R&D 팀은 개발 및 검증 시간을 단축하고, 귀중한 리소스를 보존하기 위해 재사용 방법을 모색하고 있다. 예를 들어, 디스크리트 DC-DC 컨버터 설계에 기반한 기존의 PDN은 200개가 넘는 벌크 부품으로 구성되는 반면, 바이코의 첨단 기술은 단일 고밀도 전력 모듈로 이를 지원한다. 동일한 기능을 위해 200개 이상의 개별 부품 대신 하나의 모듈만 검증하면 되기 때문에 엔지니어링 설계 팀의 시간을 상당히 단축할 수 있다.

또한 바이코의 모듈식 접근방식을 통해 엔지니어들은 3~4개의 다양한 유형의 확장 가능한 빌딩 블록 모듈을 사용하여 약 300개에 달하는 전력분배 조합을 달성할 수 있다. 이러한 설계 접근방식을 통해 수백 여 시간을 단축하고, 리소스를 절감함으로써 OEM 업체들은 전동화 경쟁을 선도할 수 있다.

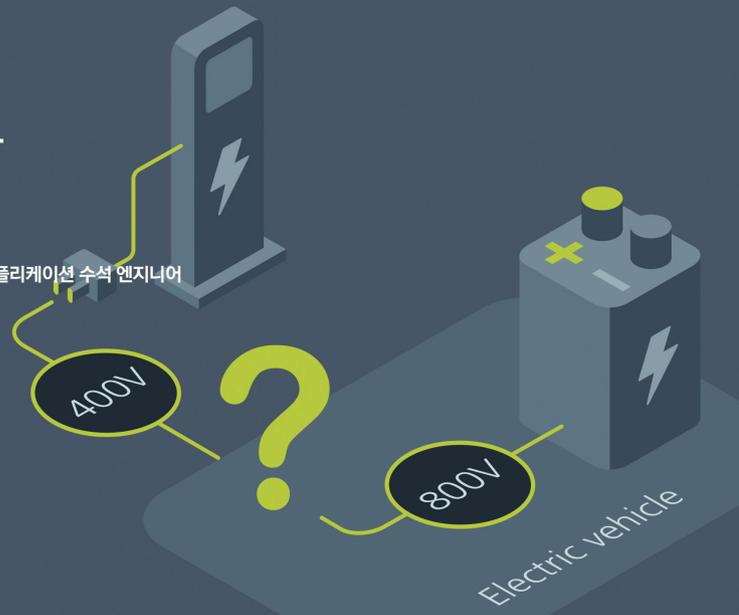
레이스의 결승선

OEM 업체들은 전동화 결승선을 통과하는 것뿐만 아니라 장기적인 성과를 거둘 수 있도록 xEV 차종 전반에 대한 최종 마무리 작업을 완수해야 하는 어려운 과제에 직면해 있다. 모듈식 전력 시스템 설계 방식을 활용하면, 중요한 시장 점유율 레이스에서 경쟁 우위를 확보할 수 있다. 현재 최고의 성능을 제공하는 것은 물론, 미래에도 재사용 및 재구성이 가능한 새로운 아키텍처 및 토폴로지 방식의 혁신이 필요하다.

기존의 전력 설계는 이러한 수준의 유연성과 사용 편의성을 충족할 수 없다. OEM 업체들이 공격적인 전동화 목표를 달성할 수 있는 가장 좋은 방법은 여러 핵심 레벨에서 최고의 성능을 제공하는 것은 물론, 가장 복잡한 xEV 전력 요건을 충족시킬 수 있는 모듈식 접근방식을 채택하는 것이다. **SN**

호환 가능한 전기자동차 인프라로 나아가기 위한 준비

글 | 해리스 무헤디노비치(Haris Muhedinovic), 필드 애플리케이션 수석 엔지니어



2

오늘날 전기자동차의 1차측 배터리 전압이 400V에서 800V까지 증가하고 있지만, 공공 인프라는 아직 800V DC 고속 충전에 적합하지 않아 충전에 대한 불안이 높아지고 있다. 충전소 업그레이드는 지속 가능한 단기적 솔루션이 아니다. 보다 신속하고 합리적인 접근 방식은 400V 및 800V 호환성을 지원하는 온보드 변환 솔루션이다. 바이코의 확장 가능한 양방향, 고밀도 전력 모듈을 이용하면, 최소한의 투자와 쉬운 설계로부터 빠르게 시장에 적용할 수 있다.

DC 고속 충전의 비호환성

비호환성 문제는 일반적으로 시간과 접근성이 제한된 장거리 주행에 사용되는 DC 충전에 해당된다. 일상적인 충전을 위한 AC 충전은 기존의 전력망 인프라 기반 AC 충전이 상당히 편리하기 때문에 문제가 되지 않는다. 이러한 유형의 충전은 충전속도가 크게 중요하지 않은 집(야간)이나 직장(주간)에서 충전할 수 있어 전기자동차를 소유한 사람들이 쉽게 이용할 수 있다. AC 충전은 일상적인 이동이나 단거리 주행에 이상적이며, 최대 300km의 당일 여행에 가장 저렴하고 실용적인 솔루션이다.

그러나 사람들이 장거리를 이동하는 경우, 고속도로 휴게소와 같은 공공 장소에서 빠른 충전이 필요하다. 이 경우 DC 고속 충전소를 이용할 수 있다. 이러한 충전소는 50kW 이상의 전력을 필요로 하며, 최대 전력은 150kW 또는 350kW에 이른다. DC 충전은 AC 충전보다 사용빈도가 낮지만, 주행거리에 대한 불안을 줄이기 위해서는 이러한 유형의 견고한 네트워크를 구축하는 것이 매우 중요하다. 2020년 기준, 공용으로 사용할 수 있는 고속 충전기를 갖춘 DC 충전 네트워크는 약 40만 개에 이르고 있으며, 이 중 800V 차량을 지원하는 것은 거의 없다. 예를 들어, 유럽에 있는 총 4만 개의 충전소 중 400개만이 800V 차량을 지원하고 있다.

이미 OEM 업체들은 새로운 800V 차량을 출시하기 시작했지만 이에 적합한 공공 충전 인프라가 부족해 400V 및 800V 충전소 간의 불균형은 상당한 문제를 야기하고 있다.

DC 고속 충전 솔루션 모색

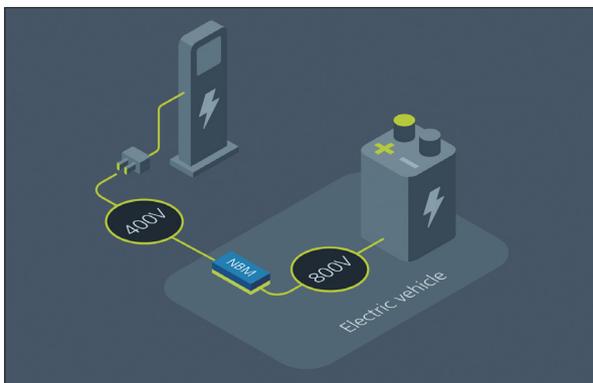
일반적으로 DC 고속 충전 문제를 해결하기 위해서는 두 가지 접근방식이 있다. 하나는 충전소 개선에 초점

을 맞추는 것이고, 다른 하나는 차량 변경에 초점을 맞추는 것이다. 충전소의 DC 고속 충전 네트워크를 확장하면 이러한 문제를 완화시킬 수 있지만, 이는 가장 신속하고 비용 효율적인 방식은 아니다. DC 고속 충전 네트워크를 확장하는 방법은 다음과 같은 두 가지가 있다:

- **800V 충전소 추가:** 넓은 전압범위(250 ~ 920V)를 지원하는 새로운 DC 고속 충전소를 설치하는 것도 하나의 해결책이지만, 이는 많은 시간과 비용의 투자가 필요하다. 오늘날 유럽과 미국에는 800V 충전을 제공하는 약 1,000개의 충전소가 있고, 이는 이용 가능한 DC 충전소의 약 2%에 불과하다. 증가하는 800V 전기자동차에 대응하기 위해서는 이러한 네트워크를 수백 개 이상의 충전소로 확장해야 한다. 하지만 많은 수의 새로운 충전소를 설치하는 것은 수년의 시간과 상당한 비용이 소모될 것이다.
- **400V 충전소 활용:** 또 다른 접근방식은 400V 충전소를 활용하여 800V를 지원하도록 업그레이드하는 것이다. 그러나 높은 정격의 초고전력(>150kW) 충전이 항상 가능한 것은 아니다.(온도, 배터리 성능 저하 등) 충전 시간 또한 800V에서 기대하는 것보다 더 오래 걸릴 수 있다.

모듈식 DC-DC 가상 배터리를 이용한 온보드 충전은 유연성은 물론, 99%의 효율을 제공할 수 있다. 온보드 변환 솔루션은 충전 네트워크를 확장하는 방식과 달리 보다 총체적인 접근방식으로 400V 또는 800V 호환

그림 1. 800V 배터리와 400V 충전기 간의 비호환성은 '배터리 가상화'를 통해 해결할 수 있다. 충전기는 배터리 가상화를 통해 온보드 충전기 한쪽에 800V 배터리가 연결되어 있어도, 다른 한쪽에 있는 400V 배터리를 '인식'할 수 있다.



성을 지원할 수 있다. 이러한 접근방식을 통해 충전 인프라에 대한 자본투자 없이 신속하게 채택이 가능하다.

800V 배터리와 400V 충전기 간의 비호환성은 '배터리 가상화'를 통해 해결할 수 있다. 충전기는 배터리 가상화를 통해 온보드 충전기 한쪽에 800V 배터리가 연결되어 있어도, 다른 한쪽에 있는 400V 배터리를 '인식'할 수 있다(그림 1).

이러한 접근방식을 통해 배터리 전압을 시작으로 충전소에서 허용되는 전압 범위에 따라 이를 조정할 수 있다. 바이코의 고밀도, 고전력 모듈을 사용하면, 크기와 무게 및 설계 복잡성을 추가하지 않으면서도 배터리 가상화를 위한 DC-DC 컨버터 온보드 충전 솔루션을 구현할 수 있다.

바이코의 NBM™ 양방향 모듈은 개별 부품 솔루션보다 최소 50% 더 작고, 가벼운 전력 컨버터를 사용하여 550kW/liter 및 130kW/kg에 이르는 전력밀도로 수십 kW의 전력을 변환할 수 있다. 바이코의 독보적인 SAC™ (Sine Amplitude Converter) 토폴로지는 1차측과 2차측에서 소프트 스위칭을 사용하여 99%의 효율을 달성할 수 있다. 이를 통해 EMC 설계를 간소화하고, 유연한 쿨링 시스템 관리가 가능하다(그림 2).

NBM 모듈의 한쪽에 배터리를 연결하면, 다른 쪽의 배터리는 즉시 가상화 되어 전압 또는 전류 상수인자로 나누거나 곱해진다. 따라서 NBM 모듈을 통해 충전소의 전압 범위(250V에서 460V, 500V, 920V까지)를 확장하

그림 2. 바이코의 NBM 양방향 모듈은 개별 부품 솔루션보다 최소 50% 더 작고, 가벼운 전력 컨버터를 사용하여 550kW/liter 및 130kW/kg에 이르는 전력밀도로 수십 kW의 전력을 변환할 수 있다.



여 이용 가능한 전체 충전 지점 수를 늘리고, 모든 DC 충전소와 호환되는 전기자동차를 구현할 수 있다.

결함 없는 완벽한 파워트레인 설계와 고대역폭 컨트롤러를 통해 배터리 가상화를 지원할 수 있다. 바이코의 패키징 기술을 통해 어셈블리 및 제조를 간소화하고, 유연하고 확장 가능한 전력을 구현할 수 있다. 또한 OEM 업체들은 동일한 모듈을 사용하여 추가 등급 및 품질 인증 없이 50kW ~ 150kW에 이르는 충전 전력 패키지를 구성할 수 있다.

전력 모듈을 사용해야 하는 또 다른 이유

NBM은 충전을 위한 배터리 가상화 기능을 제공할 뿐만 아니라 낮은 RPM 주행에서 높은 효율을 달성할 수 있도록 트랙션 배터리와 통합할 수 있다. 예를 들어, 도심 주행에서는 낮은 RPM이 필요하기 때문에 800V 트랙션 인버터의 효율은 15% 이상 크게 떨어지게 된다. NBM은 배터리 전압의 절반을 인버터에 공급하는 보조적 방식을 사용하여 스위칭 손실을 절반으로 줄이고, 주행거리를 연장하는 데 활용할 수 있다. 이는 최고 효율을 유지할 수 있도록 DC-DC 컨버터를 부분적으로 활

용하여 전력 분배 네트워크를 최적화할 수 있는 통합 모듈식 전력 접근방식의 또 다른 이점이다.

온보드 부스트 변환을 사용하여 주행거리에 대한 불안 해소

전기자동차 성장을 지원하기 위해 충전소 인프라 확장은 필수지만, 확장만으로 400V/800V 호환성 문제가 해결되는 것은 아니다. 주행거리에 대한 불안을 줄일 수 있는 가장 효과적인 솔루션은 모든 DC 고속 충전기와 호환이 가능한 온보드 충전기를 설계하는 것이다.

고성능 전력 모듈을 이용한 바이코의 온보드 솔루션은 최소한의 투자와 최상의 이익으로 800V/400V 차량과 DC 충전 네트워크 간의 완벽한 호환성을 지원한다. 바이코 솔루션의 크기와 무게는 평균적으로 대부분 개별 부품 솔루션의 절반에 불과하며, 매우 높은 효율성과 확장성을 제공한다. 또한 550kW/liter 및 130kW/kg에 이르는 전력 밀도로 수십 kW의 전력을 변환할 수 있다. 바이코의 전력 모듈은 높은 전력 밀도와 유연성 및 고효율을 통해 400V/800V 전기자동차 충전 호환성 문제를 해결할 수 있는 이상적인 온보드 솔루션이다. 

12V 배터리 제거와 전기 자동차의 성능 향상

글 | 팻 코왈릭(Pat Kowalyk), 북미지역 자동차 애플리케이션 분야 수석 엔지니어



3

전 기자동차(EV)의 전력 요구가 3kW에서 50kW 이상으로 증가함에 따라 기존 내연기관의 전력분배 아키텍처를 새롭게 구성하는 대신 필요한 전력을 최적으로 공급할 수 있는 새로운 방법을 모색해야 한다.

오늘날의 배터리 전기자동차(BEV)는 이미 1차측 배터리(800V 또는 400V)를 가지고 있기 때문에, 12V 배터리는 필요하지 않다. 만약 250A/ms 이상의 과도응답 속도를 달성하여 전력 리저버(Power Reservoir) 기능을 대체할 수 있다면 더 이상 12V 배터리는 필요하지 않다. 바이코의 전력 모듈은 12V 배터리 보다 3배 빠른 과도응답을 제공한다.

12V 배터리를 사용하는 이유는 간단하다. 많은 자동차 시스템, 특히 안전 시스템은 전력의 급격한 변화에 신속하게 응답할 수 있어야 하는데, 전통적으로 배터리는 DC-DC 전력 컨버터에 비해 훨씬 뛰어난 응답특성을 가지고 있기 때문이다. 최근까지 전력 시스템 엔지니어는 원치 않는 부피나 무게를 추가하지 않으면서 800V 또는 400V를 48V나 12V로 빠른 과도응답으로 안전하면서도 안정적으로 변환할 수 있는 옵션이 없었다.

또한 새로운 전기자동차는 내연기관 보다 최대 20배 더 많은 전력(3kW에서 50kW 이상으로 증가)을 소비하기 때문에 하드 스위칭 DC-DC 컨버터 토폴로지를 사용하면, 부피와 무게가 늘어나고, 전력분배 네트워크에 상당한 부담을 초래하여 전력 전자장치의 부피 및 무게가 증가하게 되어 결국 주행거리도 단축된다.

이러한 전기자동차의 전력요건 때문에 내연기관의 전력분배 아키텍처를 개조하는 대신 필요한 전력을 최적으로 공급할 수 있는 방법을 새롭게 살펴봐야 한다. 기존의 DC-DC 전력 컨버터를 사용하는 전기자동차는 성능과 기능 저하 없이 20배까지 증가된 전력을 처리할 수 없기 때문에 경쟁력을 저하시킬 수 있다. 이 새로운 방식은 관례적인 간단한 리모델 방식이 아니라 혁신의 관점에서 철저한 재구현 프로젝트로 탐색되어야 한다.

전동화를 향한 기존의 방식은 자동차에 더 많은 고성능 배터리를 추가하는 방향으로 추진되어 왔다. 하지만 이러한 배터리는 무겁고, 크다. 최신 모델은 800V 배터리를 강조하고 있지만, 동일한 차량에 12V 및 심지어

48V 배터리까지 탑재되어 있다. 무엇보다 중요한 패키지 공간과 무게를 고려할 때, 이러한 3개의 배터리는 비효율적이고, 불필요하다.

기존의 접근방식이 배터리를 추가하는 것이라면, 새롭고 혁신적인 방식은 배터리를 제거하여 패키지 공간을 확보하고, 무게를 줄이는 동시에, 필요한 전력 과도응답을 향상시키는 것이다.

12V 배터리의 종말?

고성능 전력변환은 배터리를 제거하는데 필수적이다. 정확히 말하면 컨버터의 빠른 과도응답이 가장 중요한 변수이다. 고성능 전력 컨버터가 12V 배터리(250A/ms)와 동일하거나 더 뛰어난 빠른 응답을 제공할 수 있다면, 12V 배터리와 이와 관련된 중량 및 패키징 공간을 제거할 수 있는 가장 합리적 방법이 될 것이다.

12V 배터리의 가장 중요한 역할은 많은 전력을 필요로 하는 부하를 위해 전력 리저버용으로 사용하는 것이다. 차량의 일반적인 부하는 두 가지 유형의 전류를 소모한다. 하나는 시동을 위한 것이고, 다른 하나는 정상상태의 동작을 위한 것이다. 전원이 특정 부하에 처음 인가될 때, 기존 전원을 인가하거나 또는 이미 전원이 있다면, 활성화 신호만 필요하다.

기존 전력을 사용하는 부하는 커패시터를 충전하거나, 전기자를 돌리기 위해 많은 양의 전류를 소비한다. 그런 다음, 부하에 전원이 공급된 후(시동 후)에 전류가 떨어지고, 지속적으로 부하가 동작(정상상태) 하게 된다. 이러한 초기 전류 소모로 인해 기존의 내연기관 차량에서는 배터리가 적합한 옵션이었지만, 무게가 주행 거리에 상당한 영향을 미치는 전기자동차에는 적합하지 않다. 따라서 무거운 납축전지(Lead-Acid) 또는 리튬 12V 배터리를 제거하고, 매우 빠른 과도응답을 제공하는 가볍고, 컴팩트한 고성능 DC-DC 컨버터로 대체하는 것이 합리적이다.

12V 배터리 Vs. 고성능 전력 모듈

차량의 12V 배터리를 기존의 컨버터로 대체할 경우, 부하 전압이 상당히 낮아지면서 부하가 꺼질 수 있으며, 이로 인해 차량이 재부팅될 수도 있다. 고려해야 할 주요 파라미터는 시간에 따라 전류가 변하면서 나타나는 부하의 전압 편차이다. 이를 과도응답이라고 하며, 전압 편차가 작을수록 시스템 성능이 높아진다.

새로운 전기자동차를 설계할 때는 다수의 새로운 첨단 솔루션을 고려할 필요가 있다. 바이코의 독보적인 SAC™ (Sine Amplitude Converter)와 같은 토폴로지와 결합된 모듈식 전력 접근방식은 납축전지의 슬루레이트(과도응답)를 훨씬 능가할 수 있다. SAC를 활용한 모듈식 접근방식은 규격을 벗어나는 어떠한 전압 강하도 없이 고전압 배터리에서 부하까지 수천 암페어를 처리할 수 있다. 벤치 테스트 결과에 따르면, 모듈식 전력 솔루션은 일반적인 12V 배터리 보다 3배 빠른 응답을 제공할 수 있는 것으로 나타났다(그림 1).

자동차 제조업체는 일반적으로 빠른 부하를 위해 12V 배터리가 달성(75A/30us)할 수 있는 250A/ms를

그림 1. 과도 테스트 비교: 75A, 48V-12V에서 12V 배터리와 비교. 50A 부하에 대한 NBM2317 전력모듈의 응답 속도는 표준 12V 배터리 보다 3배 더 빠르다.

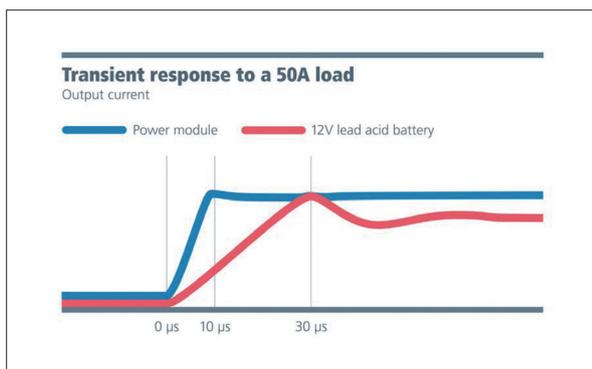


그림 2. 벤치 테스트 결과, 모듈식 전력 솔루션이 일반적인 12V 배터리 보다 3배 더 빠른 응답을 제공할 수 있는 것으로 나타났다.

Power source	di/dt
660CCA, 12V car battery	75A/30μs
48V to 12V SAC at 80A	75A/10μs

요구한다. 바이코의 모듈식 접근방식은 이보다 빠른 과도응답(75A/10μs)을 제공하여 12V 보다 3배 더 빠르게 응답하는 ‘가상 배터리’를 구현할 수 있다.

12V 배터리를 더 빠르고, 가볍고, 작은 고성능 전력 컨버터로 대체

SAC와 결합된 모듈식 전력 솔루션은 자동차 전력을 위한 최적의 솔루션이다. SAC는 1차측 권선과 2차측 권선의 비율인 K 계수라고 하는 권선비를 가지고 있다. 이 토폴로지의 주요 이점은 1차측 커패시턴스가 K 계수의 제곱으로 곱해진다는 것이다. 48V에서 12V로 변환하는 경우, K 계수는 ¼이며, 이는 유효 2차측 커패시턴스가 4배 곱 또는 1차 커패시턴스의 16배임을 의미한다.

바이코의 NBM은 항상 온 상태인 기계적 소스에서 온/오프 사이클을 가진 전기적 에너지 소스로 에너지 부하를 전달하여 더 나은 제어와 효율성을 제공하는 이상적인 컨버터이다. SAC를 적용한 NBM의 사용으로, 엔지니어는 배터리의 무게와 크기 또는 온도 제한 없이 물리적 배터리의 필수 속성을 복제하여 배터리의 모든 장점을 완벽하게 갖춘 가상 배터리를 구현할 수 있다(그림 2).

모듈식 접근방식을 사용하면, 설계자가 전원 소스를 여러 영역으로 분산할 수 있다. 하나의 중앙 집중식 전력 아키텍처를 사용하는 대신, 설계자는 NBM을 대시보드와 트렁크 또는 네 바퀴에 모두 배치할 수 있다. 전원 소스를 부하에 더 가깝게 배치하면, 고성능 전력 시스템을 위한 기생 인덕턴스와 직렬 저항이 감소하게 된

그림 3. EMI 필터링과 최소한의 구성요소 및 인클로저와 함께 제공되는 바이코의 전력 모듈은 12V 납축 또는 리튬이온 배터리를 대체하여 7 ~ 18kg의 무게를 줄일 수 있다.



다. 또한 동일한 접근방식을 HV-48V 변환에도 적용하여 유사한 성능을 얻을 수 있으며, 48V 가상 배터리를 생성할 수 있다(그림 3).

차량 내에서 가장 큰 에너지 소스인 트랙션 모터(Traction Motor) 배터리를 사용하여 다양한 전압으로 다운 컨버전하는 것이 합리적이다. 일반적으로 전기자동차의 트랙션 모터 배터리는 400V 또는 800V이지만, 1,200VDC 또는 1,400VDC로 빠르게 대체되고 있다.

모듈식 접근방식은 입력 또는 출력의 모든 내부 직렬 인덕턴스를 제거하고, 초당 700,000암페어 또는 밀리초

당 700암페어를 쉽게 처리할 수 있다. 또한 병렬 어레이로 쉽게 연결하여 대규모 전력 시스템을 구현할 수 있으며, 60V 이상의 모든 1차측 버스 전압과 절연이 가능하다.

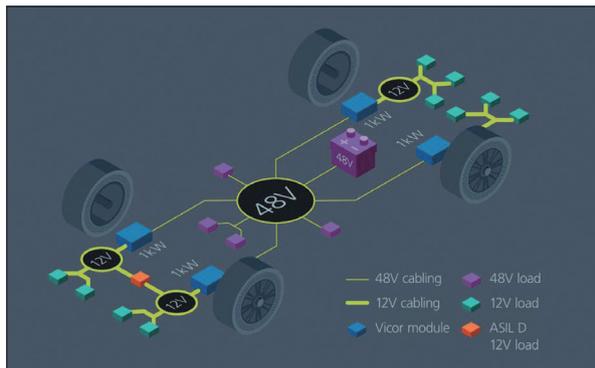
이론상으로 NBM은 전력 용량 측면에서 열적으로만 제한되며, 적절한 냉각이 이뤄지면, 매우 높은 용량의 전력을 처리할 수 있다. 또한 양방향 동작의 추가 이점을 제공하기 때문에 어느 방향으로든 운전이 가능하다.

모듈식 전력 솔루션으로 전동화 혁신

새로운 전동화 시대에 대응해야 하는 OEM 업체들은 자동차 전동화 방식에 대한 새로운 모색을 통해 이점을 얻을 수 있다. 전력분배 네트워크를 새롭게 설계하고, 차량의 모든 전기적 요구사항을 고려함으로써 훨씬 더 많은 이점을 얻을 수 있으며, 훨씬 더 뛰어난 성능을 제공할 수 있다.

즉, 모듈식 전력 솔루션으로 전환함으로써 12V 배터리를 제거하고, 향상된 과도응답과 무게 감소, 추가 패키지 공간 등의 이점을 얻을 수 있으며, 이러한 모든 것을 통해 주행거리를 연장하고, 전반적인 성능 향상에 기여할 수 있다. **SN**

그림 4. 분산형 아키텍처는 더 많은 설계 유연성을 제공하고, 차량의 케이블 및 하네스 무게를 줄여 공간 및 주행거리를 확장할 수 있도록 해준다.



그렇다. 자동차용 12V 납축전지는 종말을 맞았다. 유럽은 2030년 이후 어떤 신차에도 납축전지를 장착하지 않을 것이라고 선언했으며, OEM들은 대체 솔루션을 찾아야 하는 상당히 어려운 과제에 직면하게 되었다. 이는 힘든 작업이 될 수도 있지만, 환경적으로 유해한 배터리를 제거하는 동시에 차량의 무게를 줄이고, 전반적인 효율성을 향상시킬 수 있는 엄청난 기회가 될 것이다.

12V 배터리 및 전력분배 네트워크(PDN: Power Delivery Network)는 안전과 관련된 일부 중요한 부하를 포함해 수백 개의 부하를 지원하는 전세계적인 표준이며, 이러한 솔루션은 혁신적이고, 견고해야 한다. 고전압을 비롯해 48V 및 12V PDN을 상호 연결하는데 사용되는 고밀도의 고전압, 고효율 전력 모듈은 이러한 당면 과제에 대응할 수 있는 가장 유연하고 확장 가능한 솔루션을 제공한다.

OEM들은 가능한 솔루션을 고려할 때 보다 뛰어난 성능의 새로운 기능을 지원하기 위해 추가되는 더 많은 전력과 더 긴 주행거리 및 향상된 열 관리를 위한 효율성 증가, CO2 감소, 케이블 라우팅 최적화, 하네스 무게 감소 및 EMI 요건 충족 등과 같은 여러 주요 요소들을 고려해야 하며, 이러한 요구사항들은 복잡한 방정식 내의 변수들에 해당한다.

이러한 방정식을 해결하는 데는 두 가지 기본 옵션이 있다. 12V 납축전지를 12V 리튬이온 배터리로 교체하는 것이 첫 번째 옵션이다. 무게는 약간 감소하지만, 수십 년 동안 사용된 기존의 12V PDN이 유지되면서 추가적인 이점은 없다. 다른 옵션은 EV 및 HEV/PHEV의 기본 400V 또는 800V 배터리에서 전원을 공급받는 12V PDN을 지원하는 것이다. 후자의 옵션은 많은 이점이 있지만, 두 가지 모두 추가 검토가 필요하다.

12V 리튬이온 배터리로 전환

12V 납축전지를 12V 리튬이온 배터리로 교체하면 55%까지 무게를 줄일 수 있지만, 비용 부담이 크다. 12V 리튬이온 배터리는 차량의 수명기간 동안 전체 배

터리 동작의 유지관리 및 충전 제어를 위해 배터리 관리 시스템(BMS: Battery Management System)이 필요하다. 이는 테슬라(Tesla)와 현대가 취하고 있는 방식이다.

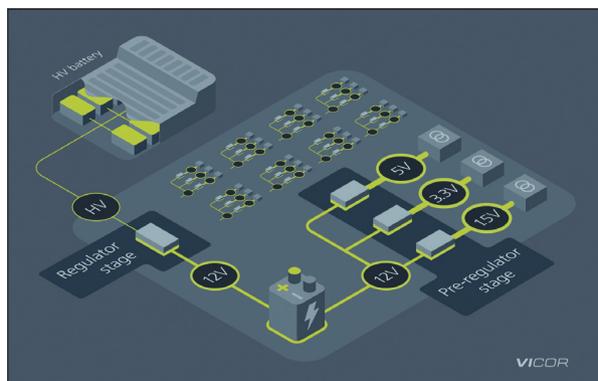
또한 12V 리튬이온 배터리를 재충전하고, 전기 부하를 공급하기 위해서는 HV(High Voltage)에서 12V(전압 및 전류 레귤레이션 기능이 있는)로 변환하는 부피가 큰 DC-DC 컨버터를 추가해야 한다. 이는 아무런 이점을 제공하지 않는다. 무게와 차량 패키징의 복잡성, 시스템 비용이 추가되고, 차량의 전반적인 신뢰성을 감소시킨다. 이에 비해 12V 배터리를 완전히 제거하면, 자동차의 무게를 13kg까지 줄일 수 있고, 적재공간을 2.4%까지 향상시킬 수 있다.

기존의 12V PDN은 비효율적이다

물리적으로 12V 배터리를 유지하는 것은 불필요한 리턴턴시를 유발하여 비효율적인 PDN을 유지하는 것과 같다. 일반적인 차량용 12V PDN의 경우, 12V 버스에 연결된 모든 12V 부하에는 보통 6V~16V의 넓은 입력전압 범위를 5V 및 3.3V 또는 그 이하의 안정화된 전압으로 변환할 수 있는 프리-레귤레이터가 있다. EV, HEV 또는 PHEV에 대한 글로벌 시스템 관점에서 보면, 이는 직렬 전압안정기가 중복되는 것이다.

고전압에서 12V로 변환하는 DC-DC 컨버터는 12V

그림 1. 리턴턴트 전압 레귤레이터 스테이지를 사용하는 12V 배터리 기반의 xEV에 사용된 일반적인 E/E. HV-12V DC-DC는 12V 배터리를 충전하기 위해 12V 출력으로 변환한다. 차량의 모든 12V 부하에는 부하가 동작하는데 필요한 적절한 레일 전압을 공급하기 위한 프리-레귤레이터가 있다.



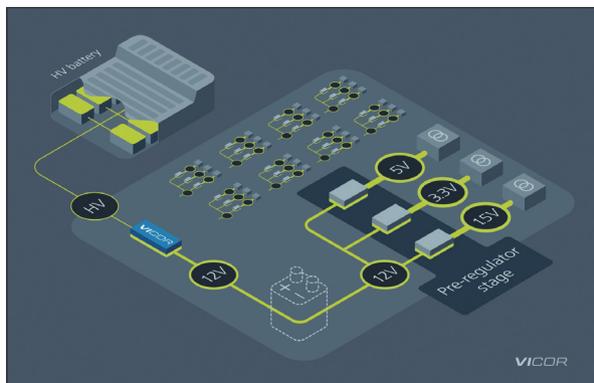
버스(효율적으로)를 안정화하고, 프리-레귤레이터는 각 부하에 적합한 내부 레일 전압을 제공한다(그림 1). 이러한 기존의 아키텍처는 배터리를 충전하거나 크랭킹(Cranking) 이벤트 시 무선 동작 유지 또는 백열 전조등의 적절한 휘도를 유지하기 위해 안정화가 필요한 민감한 12V PDN의 교류발전기가 차량에 사용되던 때부터 시작되었다. OEM들은 매우 창의적으로 12V 전력 제한을 피하기 위해 노력했으며, 최근 몇 년 동안 2개의 12V 배터리와 파워 스티어링을 위한 하나의 24V 배터리, 그리고 이들 사이에 여러 DC-DC 컨버터를 사용하는 복잡한 전자 아키텍처가 설계되었다.

12V를 가상 배터리로 교체

이러한 문제를 해결하기 위한 더 나은 접근방식은 자동차 PDN을 다시 구성하는 것이다. 물리적인 12V 배터리를 제거하고, 기본 EV 배터리에서 12V ‘가상(Virtual)’ 배터리를 만들어 이를 교체할 수 있다(그림 2). 모든 EV는 메인 배터리를 가지고 있기 때문에 추가로 에너지 저장 장치를 탑재하는 것은 적절하지 않다.

이상적인 자동차 아키텍처는 파워트레인과 모든 보조 부하에 전력을 공급하기 위해 하나의 고전압(HV) 배터리를 사용하는 것이다. 바이코의 고밀도 버스 컨버터 모듈 기술은 HV 배터리(400V 또는 800V)에서 직접 저전압 배터리(48V 또는 12V)를 가상화하여 이러한 접근 방식을 구현할 수 있다.

그림 2. 최적화된 E/E 아키텍처는 물리적인 12V 배터리를 제거하는 것이다. 바이코의 BCM 버스 컨버터 기술을 통해 고전압 배터리를 변환하여 가상 12V 배터리를 생성할 수 있다.



ZVS/ZCS(Zero-Voltage, Zero-Current Switching)를 활용하는 바이코의 BCM® 버스 컨버터는 기존 컨버터에 비해 더 높은 주파수에서 동작하기 때문에 물리적인 배터리보다 반응성이 뛰어나다. 예를 들어, BCM6135는 1.2MHz에서 동작하며, 기존의 ZVS/ZCS 공진형 컨버터와 달리 BCM은 협대역 주파수 내에서 동작한다(그림 3). BCM의 고주파수 동작은 부하 전류의 변화에 따라 빠른 응답과 입력에서 출력까지 낮은 임피던스 경로를 제공한다. BCM은 고정비율 변환과 양방향 동작, 빠른 과도응답(초당 8메가암페어(8MA/s) 이상) 및 낮은 임피던스 경로를 통해 HV 배터리를 48V 배터리처럼 보이게 하는데, 이를 ‘트랜스포메이션’ 이라고 한다. 이러한 전원 소스를 변형시키는 기능은 기존의 컨버터와 비교할 때 주요 이점이자 주요 차별화 요소이다.

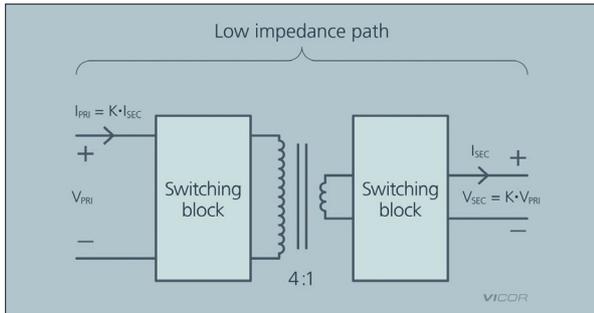
바이코의 BCM은 입력 전압의 고정비율로 출력 전압을 제공하는 고정비율 컨버터로 동작한다. 바이코의 BCM6135 컨버터는 절연되어 있으며, 61 x 35 x 7mm 패키지로 2.5kW의 전력을 97% 이상의 피크 효율로 제공한다. 또한 더 많은 전력을 제공할 수 있도록 어레이로 쉽게 병렬화할 수 있다.

BCM의 고정비율 특성은 가상 배터리가 적절한 동작 범위 내에서 유지되도록 해준다. 예를 들어, 800V 배터리 구동 전기자동차에서 HV 배터리는 520V ~ 920V를 유지하도록 보장한다. 1/16 비율의 BCM6135는 32.5V ~ 57.5V의 전압 범위를 유지함으로써 48V 배터리를 가상화한다. BCM6135 1/8 비율은 400V 전기자동차에

그림 3. BCM6135의 빠른 부하 과도응답은 12V 부하를 지원하는 핵심이다. 과도응답은 8MA/s이다. 노란색: 입력 전압(800VDC), 빨간색: 출력 전압(48V), 파란색: 출력 전류



그림 4. BCM 버스 컨버터의 기능 블록 다이어그램. DC-DC 변환은 물론, BCM은 트랜스포머를 사용하여 고효율로 AC-AC 변환이 가능하며, K 계수로 규모를 조정하고, 스위칭 블록을 사용하여 AC-DC 변환을 처리한다. 스위칭은 고주파수에서 이뤄지며, 트랜스포머와 같은 에너지 전달 변환으로 과도 부하 변화에 따라 빠르게 응답하고, 입력 및 출력 간에 낮은 임피던스 경로를 제공한다.



사용할 수 있다(그림 3).

배터리 가상화는 1/4의 고정비율 컨버터를 사용하여 12V 버스로 확장할 수도 있다. 이 경우 갈바닉 절연이 필요하지 않으며, 바이코의 NBM™ 버스 컨버터를 사용할 수 있다. BCM의 다른 모든 기능과 마찬가지로 NBM 비절연 버스 컨버터는 빠른 과도응답과 낮은 임피던스 및 양방향 동작과 같은 앞에서 설명한 모든 이점을 동일하게 제공한다. 12V의 전압 범위는 HV 배터리 전압에 대한 고정비율로 8.125V ~ 14.375V를 유지한다. BCM 및 NBM 기술은 차량의 각 전력 네트워크를 연결하는 이상적인 트랜스포머이다.

기능안전 부하에 대한 전력공급 리던던시를 보장하는 것은 필수적이다. 바이코의 전력 모듈은 전력 및 공급 면에서 완벽하게 확장이 가능하며, 리던던트 PDN으로 동작하도록 설계할 수 있어 기능적으로 안전이 중요한 부하에 2개의 전용 전력변환 경로를 제공할 수 있다. 궁극적으로 OEM은 ADAS, 조향 및 제동과 같은 중요 시스템의 기능안전 동작을 보장하기 위해 로컬화된 에너지 스토리지를 구현할 수 있다.

기रो에 있는 전기자동차의 전력분배 네트워크

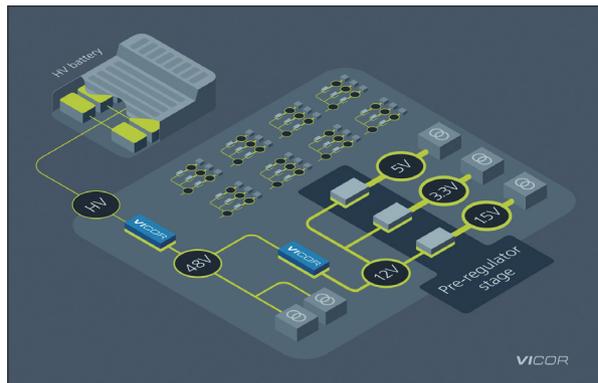
12V 납축전지는 조만간 유럽에서 사라질 것이다. 따라서 지금이 바로 전기자동차의 전력분배 네트워크에 대한 재설계를 주도하고 있는 모든 혁신을 고려할 때이다.

표 1. 바이코의 BCM/NBM 버스 컨버터 기술을 이용한 48V 버스 및 12V 버스의 최소 및 최대 전압. 48V 및 12V 전압 범위는 모두 VDA 320 및 LV 124와 호환된다.

	800V Battery	48V Bus Range	12V Bus Range
Min Bus Voltage	520V	32.5V	8.125V
Max Bus Voltage	920V	57.5V	14.375V

	400V Battery	48V Bus Range	12V Bus Range
Min Bus Voltage	260V	32.5V	8.125V
Max Bus Voltage	460V	57.5V	14.375V

그림 5. BCM6135 및 NBM2317 모듈을 기반으로 12V 및 48V 배터리 가상화를 지원하는 E/E 아키텍처. 48V 버스는 A/C 콘덴서, 워터 펌프 및 능동형 새시 안정화 시스템과 같은 차량의 더 높은 부하에 전력을 공급할 수 있는 보다 효율적인 소스로도 사용할 수 있다.



자동차의 전기 PDN은 12V 전력분배의 기रो에서 있다. 아키텍처 변경을 최소화하면서도 점점 더 많은 전력 부하가 차량에 구현되고 있다. 테슬라의 CEO인 일론 머스크(Elon Musk)는 “12V로 무엇을 할 수 있는가? 12V는 과거의 잔재된 전압일 뿐이며, 이는 매우 낮다.”고 말했다.

OEM은 더욱 다양한 전기자동차와 성능을 제공하기 위해 더 나은 PDN 설계에 주력하고 있다. 12V 배터리를 완전히 제거하는 것은 무게와 공간을 줄이고, 더 나은 과도응답과 시스템 성능을 제공할 수 있는 명백한 장기적인 솔루션이다. 바이코의 기술은 이러한 이점을 가능하게 할 뿐만 아니라 유연성과 확장성, 전력밀도의 탁월한 조합을 제공한다. PDN에 대한 바이코의 모듈 접근 방식은 차세대 xEV를 위한 12V 전력분배 네트워크의 단기 과제를 해결할 수 있는 이상적인 빌딩 블록을 제공한다. **SN**