자동차용 800V에서 48V SELV로의 전환을 가속하는 전력 모듈

자동차의 전동화는 우리 시대 가장 어려운 전력 과제 중 하나이다. 점점 더 복잡해지는 이러한 전기 시스템의 중심에는 800V 배터리와 그것이 야기하는 전력 변환 과제가 있다. Vicor BCM6135가 설계 엔지니어들이 접근 방식을 바꾸고 새로운 설계 기회를 가능하게 하는 방법을 알아보라.

글 | 패트릭 와든(Patrick Wadden), 바이코 오토모티브 사업부 글로벌 부사장

BCM6135 DC-DC 컨버터 모듈은 전례 없는 전기차 전력 설계 혁신을 가능하게 한다. 자동차의 전동화는 우리 시대 가장 어려운 전력 과제 중 하나이다. 점점 더 복잡해지는 이러한 전기 시스템의 중심에는 800V 배터리와 그것이 야기하는 전력 변환 과제가 있다. 동시에, OEM들은 더 낮은 전류에서 더 높은 효율을 얻고, 더 많은 전력과 더 가벼운 배선 하네스/케이블링을 활용하기 위해 12V 분배 네트워크에서 48V 버스로 전환하고 있다.

따라서 완벽한 전력 분배 네트워크(PDN)로 가는 길에는 여러 변수와 수많은 절충이 존재한다. 예를 들어 수십 년간 자동차에 표준화되어 온 12V 부하 생태계는 48V와 호환되지 않는다. 그러나 48V로의 전환이 주는 이점은 부인할 수 없다. 예를 들어, 오늘날 차량에서 가장 무거운 하위 시스템 중 하나인 12V 배선 하네스는 48V 전환으로 크게 줄일 수 있다. 이는 수천 개의 구리선으로 이루어져 총 길이가 1마일을 넘고 무게가 150파운드(68kg)에 이른다. 전력을 48V로 분배하면 기존 12V 하네스보다 비용이 저렴하고 최대 85% 더 가벼운 10AWG 배선으로 대체할 수 있다. 이는 크기, 무게, 비용, 설계 복잡성을 줄여주며 사실상 단점이 없는 명확한 이점이다.

48V 전환을 이끄는 것은 능동 서스펜션과 같은 전력 집약적 부하이다. 능동 서스펜션은 전력 엔지니어들에게 오랫동안 난제였으며, 12V는 이를 제대로 구동하기에 충분하지 않았다. 오늘날 차량에서 발견되는 많은 대형 부하에도 12V는 한계가 있었다. 그러나 48V와 고밀도 DC-DC 전력 모듈의 결합은 이러한 과제에 대한 전력 엔지니어들의 시각을 바꿔놓을 것이다. 이제 48V는 가열식 전면 유리, 전동식 조향 및 제동, 다양한 펌프, 팬, 액추에이터를 더 쉽게 구동할 수 있도록 한다. 48V와 전력 모듈은 함께 전력 엔지니어들이 그 어느 때보다도 혁신할 수 있도록 도와줄 것이다.

고전압 800V에서 SELV로의 전력 변환 과제 해결

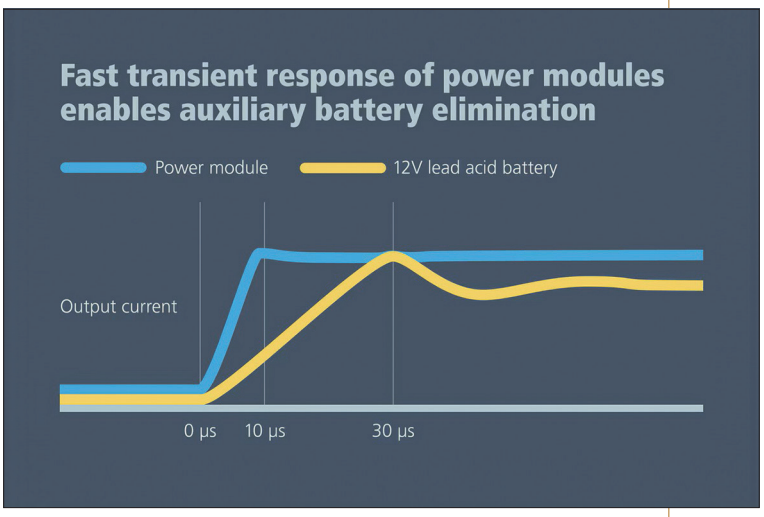
800V에서 SELV(즉, 기준 48V 이하)로 변환하는 것은 복잡할 수 있다. 아키텍처는 고효율로 동작해야 하며, 충분한

냉각과 함께 안전한 운전을 보장해야 한다. 빠른 과도 응답 속도 또한 많은 하위 시스템에서 중요한 요소인데, 이는 부하의 급격한 변화를 안정성을 유지하면서 즉시 따라갈 수 있는 능력을 제공한다. 이러한 특성은 제동이나 조향과 같은 부하의 안전한 운전을 보장하는 데 도움이 되며, 지연이 발생하면 심각한 안전 위험으로 이어질 수 있다.

기존 DC-DC 컨버터는 중간 배터리 없이도 전력을 공급할 수 있지만, 그 대가로 크기가 크고 다양한 하위 시스템이 요구하는 중복성을 충족하기 위한 빠른 응답 속도가 부족하다.

고밀도 전력 모듈은 기존 DC-DC 컨버터를 대체할 수 있는 솔루션으로, 오늘날 전기차 전력 시스템 설계에 큰 영향을 미치고 있다. 평면형 설계, 특수 자성체, 첨단 패키징은 높은 효율, 빠른 응답 속도, 매우 작은 풋프린트를 가능하게 한다. 바이코 BCM® 버스 컨버터 기술은 낮은 경로 임피던스와 빠른 응답 속도를 제공하여 고전압 배터리를 48V 또는 12V 배터리처럼 동작하게 만들어, 중간 에너지 저장 장치의 필요성을 없앤다. BCM은 최대 98%의 피크 효율을 제공하며, 연속적으로 최대 65A(3,000W 이상)의 전력을 공급할 수 있다. 이러한 특성은 차량 내 광범위한 고출력 PDN을 지원할 수 있다.

그림 1. 바이코 BCM 버스 컨버터 기술은 낮은 경로 임피던스와 빠른 응답 속도를 제공하여, 고전압 배터리를 48V 또는 12V 배터리처럼 동작하는 "가상 저전압 배터리"로 변환함으로써 중간 에너지 저장 장치의 필요성을 없앤다. BCM은 최대 98%의 피크 효율을 제공하며, 연속적으로 최대 65A(3,000W 이상)의 전력을 공급할 수 있다. 이러한 특성은 차량 내 광범위한 고출력 PDN을 지원할 수 있다.



BCM DC-DC 고정비 컨버터, 전기차를 위한 완벽한 문제 해결사

일반적인 컨버터가 입력 전압 범위를 특정 출력 전압으로 조정하는 것과 달리, BCM 컨버터는 출력 전압이 입력 전압의 일정 비율로 고정되는 고정비 컨버터로, 이를 'K 계수'라 부른다. 동작은 세 단계로 이루어진다. 1차측 스위칭이 DC 입력을 사인파로 변환하고, 이상적인 트랜스포머 단계가 1차측과 2차측 사이 권선비에 따라 전압을 스케일링하며, 2차측 스위칭이 사인파를 DC 출력으로 변환한다.

BCM 제품군은 다양한 K 계수를 통해 800V 입력을 48V로 변환하여 폭넓은 애플리케이션과 시장에 대응한다. 독자적인 Sine Amplitude Converter(SAC™) 토폴로지 기반으로, 고전압 BCM은 최대 98%의 피크 효율과 최대 2,400W/in^{3}의 전력 밀도를 달성할 수 있다. 이러한 유연한 모듈은 손쉽게 병렬 연결하여 고출력 어레이를 구성할 수 있으며, 출력은 직렬로 연결해 더 높은 출력 전압을 얻을 수도 있다.

또한 BCM은 본질적으로 양방향 동작이 가능해 차량 전반의 하위 시스템 혁신 기회를 더욱 확대한다. 더불어, BCM은 지정된 K 계수에 따라 모듈을 통해 커패시턴스를 효과적으로 '반사'시킴으로써 부하에서 필요한 벌크 커패시턴스의 양을 줄일 수 있도록 지원한다.

또한, 영전류 스위칭(ZCS)과 영전압 스위칭(ZVS) 토폴로지는 손실을 최소화한다. BCM은 고전압에서 저전압으로의 스텝다운 변환이나 저전압에서 고전압으로의 스텝업 변환 모두를 동일한 효율과 전력으로 양방향 대칭 변환할 수 있어, 능동 서스펜션처럼 차량 전력 부하에서 빠른 충방전이 필요한 애플리케이션에 적합하다.

ZCS/ZVS 스위칭은 또한 BCM 컨버터가 기존 컨버터보다 더 높은 주파수에서 동작할 수 있도록 하여, 부하 전류 변화에 대한 빠른 응답과 입력에서 출력까지 낮은 임피던스 경로를 제공한다. 그 결과, 기존 기술이 제공하는

> 현재 1차 자동차 부품 공급업체인 Hongfa는 바이코와 협력하여 800V에서 48V로 변환하는 DC-DC 컨버터를 개발해 궁극적인 능동 서스펜션 시스템을 구축하고 있다. 이 PDN은 48V와 바이코 전력 모듈을 결합해 전체 크기와 무게를 줄인다.

그림 2. BCM6135는 800V에서 48V 변환을 지원하는 고정비 컨버터이다. BCM 제품군은 본질적으로 양방향 동작이 가능해 차량 전반의 다양한 하위 시스템에서 더 많은 혁신 기회를 제공한다. 설계자는 지정된 K 계수에 따라 모듈을 통해 커패시턴스를 효과적으로 '반사'시킴으로써 부하에서 필요한 벌크 커패시턴스의 양을 줄일 수 있다. BCM은 오늘날 가장 혁신적인 능동 서스펜션 시스템에 사용되는 고밀도, 고성능 자동차용 컨버터이다.

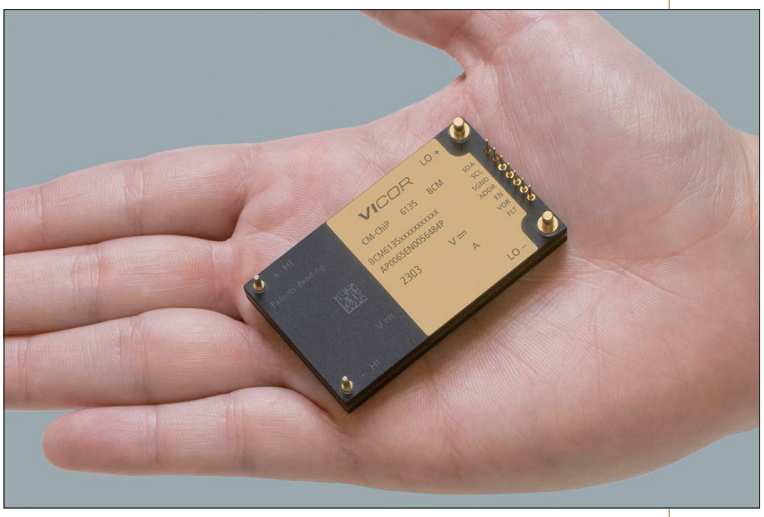
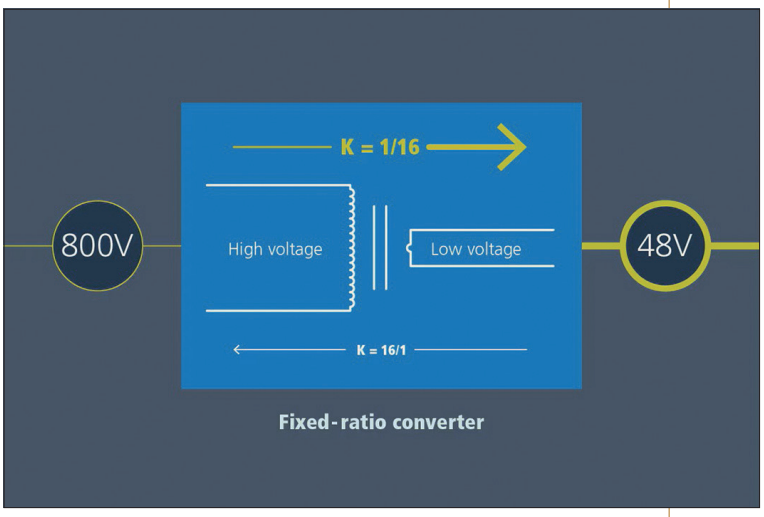


그림 3. BCM은 다양한 K 계수를 통해 폭넓은 애플리케이션과 시장에 적합하도록 800V에서 48V 변환을 지원하는 고정비 컨버터이다. 독자적인 Sine Amplitude Converter(SAC™) 토폴로지를 기반으로 한 고전압 BCM은 최대 98%의 피크 효율과 최대 2,400W/in^{3}의 전력 밀도를 달성할 수 있다. 이러한 유연한 모듈은 손쉽게 병렬 연결해 고출력 어레이를 구성할 수 있으며, 출력을 직렬로 연결해 더 높은 출력 전압을 얻을 수도 있다.



250A/s에 비해 초당 800만 암페어의 과도 응답 속도를 달성할 수 있다.

이와 같은 빠른 응답 속도는 고정비 변환, 양방향 동작, 낮은 임피던스 경로와 결합되어 BCM이 가상 배터리로 기능할 수 있도록 한다. 동시에 더 가벼운 10 AWG 배선을 활용하여 케이블 무게를 줄일 수 있다. 이는 차량의 하위 시스템 전반에 여전히 48V와 12V 부하가 혼재해 전력이 분배되어야 한다는 점에서 매우 중요하다. BCM은 차량 전체에 48V 분배를 확장한 뒤 12V 부하로 변환하는 존 아키텍처를 최적화하는 핵심 요소이다.

BCM6135, 능동 서스펜션 전력 시스템 크기 50% 축소 구현

BCM6135는 오랫동안 문제로 여겨져 온 PDN 최적화에 중요한 역할을 하고 있다. 능동 서스펜션은 무겁고 전력 소모가 큰 시스템으로, 설계 비용이 높아 수십 년간 전력 설계자들을 괴롭혀왔다. 그러나 대형 1차 배터리, 48V 버스, 초소형 DC-DC 전력 모듈의 결합으로 능동 서스펜션 시스템은 그 어느 때보다 최적화될 수 있게 되었다.

현재 1차 자동차 부품 공급업체인 Hongfa는 바이코와 협력하여 800V에서 48V로 변환하는 DC-DC 컨버터를 개발해 궁극적인 능동 서스펜션 시스템을 구축하고 있다. 이 PDN은 48V와 바이코 전력 모듈을 결합해 전체 크기와 무게를 줄인다. 또한 BCM6135의 전력 밀도를 활용해 시스템 박스 부피를 1.8리터 이하로 달성

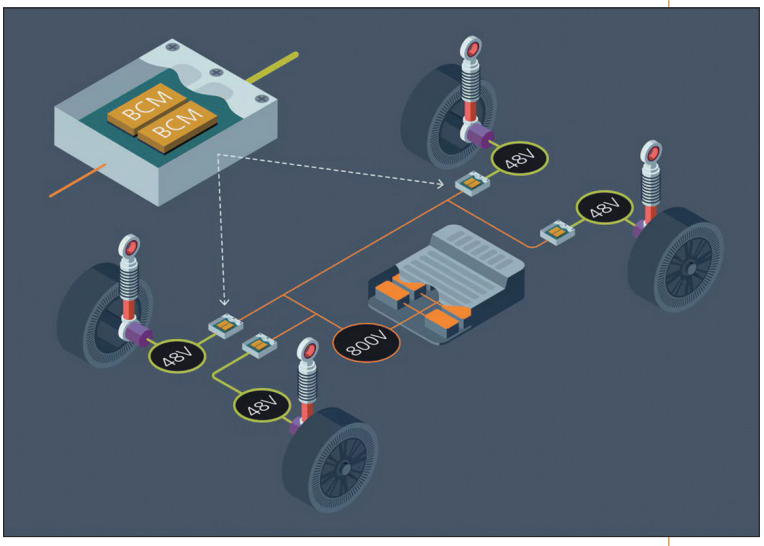
바이코 DC-DC 컨버터는 에너지 회수를 최적화하기 위해 필요한 전력 및 과도 응답 요구 사항을 충족할 뿐만 아니라, 업계 최고 수준의 전력 밀도를 제공하여 OEM들이 전체 시스템 풋프린트를 줄일 수 있도록 지원한다.

했으며, BCM의 양방향 전력 기능을 활용해 회생 전력 부하를 지원한다. 이 전력 설계는 현재 가장 작은 능동 서스펜션 시스템으로, 경쟁사 대비 크기를 거의 절반 수준으로 줄였다.

능동 서스펜션을 배터리에 직접 연결하는 가장 큰 이점 중 하나는 에너지 회수이다. 스프링이 에너지를 흡수하고 방출할 수 있는 것처럼, 능동 서스펜션은 에너지를 흡수해 배터리에 저장할 수 있다. 기술적으로는 DC-DC 컨버터를 통해 가능하지만, 장치와 전원 사이의 양방향 전력 흐름을 처리할 수 있을 만큼 빠른 과도 응답, 높은 슬루율, 전력 효율을 갖춘 시스템을 설계할 수 있는 제조업체는 지금까지 거의 없었다.

BCM6135의 높은 슬루율(초당 800만 암페어)은 능동 서스펜션 시스템에서 에너지 회수를 위한 가장 빠른 양방향 전력 전송을 가능하게 한다. Hongfa는 바이코 전력 모듈을 활용해 능동 서스펜션 구동을 위한 가장 진보된 솔루션을 설계했다. 바이코 DC-DC 컨버터는 에너지 회수를 최적화하기 위해 필요한 전력 및 과도 응답 요구 사항을 충족할 뿐만 아니라, 업계 최고 수준의 전력 밀도를 제공하여 OEM들이 전체 시스템 풋프린트를 줄일 수 있도록 지원한다.

그림 4. BCM6135는 능동 서스펜션 전력 시스템 크기를 절반으로 줄일 수 있게 한다. 능동 서스펜션은 무겁고 전력 소모가 많은 시스템으로, 설계 비용이 높아 수십 년간 전력 설계자들을 괴롭혀왔다. 현재 1차 자동차 부품 공급업체 Hongfa는 바이코와 협력하여 800V에서 48V로 변환하는 DC-DC 컨버터를 개발해 궁극적인 능동 서스펜션 시스템을 구축하고 있다. 이 시스템은 48V와 바이코 전력 모듈을 결합하여 전체 크기와 무게를 줄인다.



바이코 BCM6135, 다양한 전기차 전력 과제 해결의 핵심

바이코 BCM 전력 모듈은 전력 엔지니어들이 복잡한 전력 문제를 해결하기 위해 찾고 있는 특성을 구현한다. BCM6135는 가볍고, 전력 밀도가 높으며, 양방향 동작이 가능하고, 매우 빠른 응답성을 제공한다. 이러한 특징은 수십 년간 해결되지 못한 능동 서스펜션 전력 문제를 해결하는 데 필수적이며, 이는 시작에 불과하다.

바이코 전력 모듈은 새로운 수준의 확장성과 유연성, 고효율, 그리고 수동 냉각을 가능하게 한다. 또한 전력 모듈은 부품 수를 줄이고 자동차 전력 엔지니어들이 직면한 가장 복잡한 문제들을 단순화한다. 소형 DC-DC 컨버터 모듈인 BCM6135는 급변하는 자동차 전동화 환경 속에서 더 나은 솔루션을 찾고자 하는 오늘날의 엔지니어들에게 완벽한 문제 해결 제품이다. SN