

전환점에 처한 전원 공급 네트워크

글/정기천(KC.Jung) Account Manager, Vicor Korea 한국 지사 대표



정기천 Account Manager,
Vicor Korea 한국 지사 대표

모든 전자 장비 또는 시스템에는 케이블, 버스 바, 커넥터, 회로 기판 구리 파워 플레인 및 AC-DC 및 DC-DC 컨버터, 레귤레이터로 구성된 전원 공급 네트워크(PDN)가 있다. PDN의 성능을 좌우하는 것은 AC 또는 DC 전압 분배, 특정 전압 및 전류 레벨, 네트워크에 전압 변환 및 레귤레이션이 필요한 시기 및 횟수와 같은 전체 아키텍처이다.

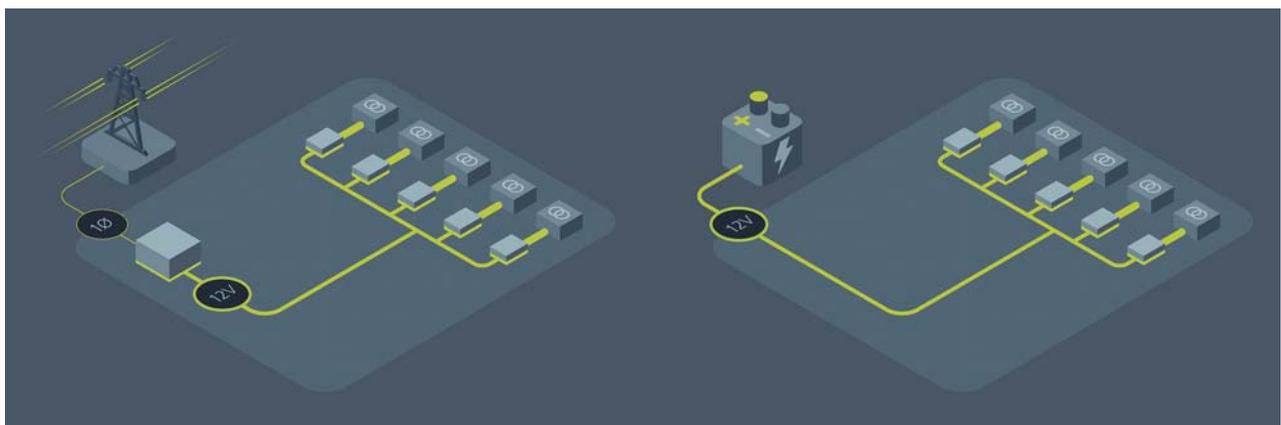
국방 항공 우주 산업에 사용되는 270V 및 28V, 통신 인프라에 적용되는 네거티브 48V 및 자동차에 사용되는

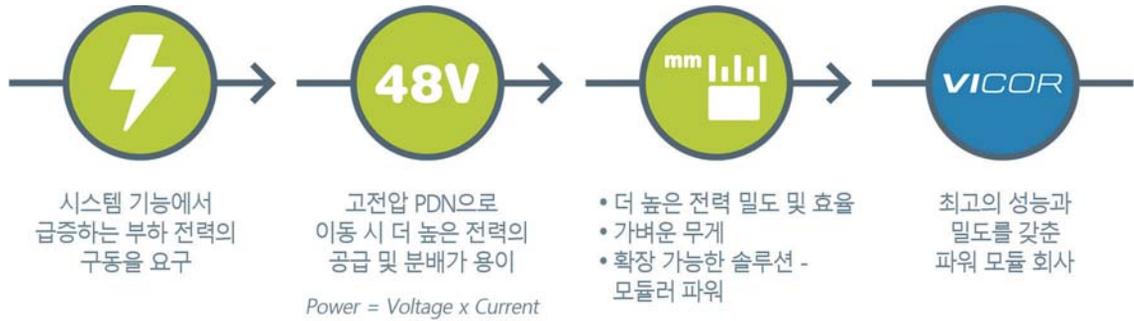
12V PDN과 같이 특정 산업에서는 수년 동안 많은 PDN이 표준화되어 컴퓨터 서버 및 산업 응용 분야의 표준이 되었다. 결과적으로 수십억 달러 규모의 산업이 표준 PDN을 중심으로 구축되었다.

산업이 48V, 400V 및 800V와 같은 새로운 PDN으로 전환함에 따라 비전통적인 전원 공급 아키텍처 및 기술로 성능을 크게 향상시킬 수 있는 많은 기회가 있다.

엔터프라이즈 및 고성능 컴퓨팅, 통신 및 네트워크 인프라, 자율 주행 차량

및 수많은 운송 어플리케이션의 고급 시스템은 더 많은 전력을 요구하는 고성장 산업 중 일부일 뿐이다. 이러한 시스템에서는 부하 수와 부하 전력이 점점 더 증가하므로 PDN에서 12V를 기반으로 고성능을 달성하는 데에는 복잡한 설계 문제가 제기된다. 더 높은 전압을 통합하는 데는 어려움이 있고, 오랫동안 성공적인 역사와 12V의 사용 그리고 수십 년에 걸쳐 구축된 대규모 공급망 생태계는 변화에 저항할 충분한 이유가 된다.





48V의 출현

통신 산업에서는 수십 년 동안 48V PDN을 사용해왔다. 48V는 다음의 3가지 쟁점으로 가장 좋은 옵션임을 설명할 수 있다.

- ① 안전 초저전압(SELV)이다. SELV는 감전 위험이 낮음을 의미한다.
- ② 작은 게이지 와이어는 전압 강하를 최소화하면서 장거리로 흐르는 전류를 전달할 수 있다.
- ③ 산업계에서는 '상시 켜짐(always on)' 상태 유지를 위해 48V가 직렬로 연결된 대형 납산 충전식 12V 배터리 뱅크를 활용해야 했다.

인터넷, 노트북 컴퓨터 및 휴대폰의 출현으로 통신 네트워킹 인프라가 복잡해짐에 따라 48V PDN 인프라는 네트워크 프로세서 배열, 메모리 및 제어 시스템 부하로 구성된 새롭고 복잡한 부하에 전원을 공급해야 했다. 사용 가능한 기술 대부분이 반도체 컨버터 및 레귤레이터 부품을 갖춘 12V 기능에 집중되어 있고 이 동작 전압에 최적화되었기 때문에 문제가 되었다.

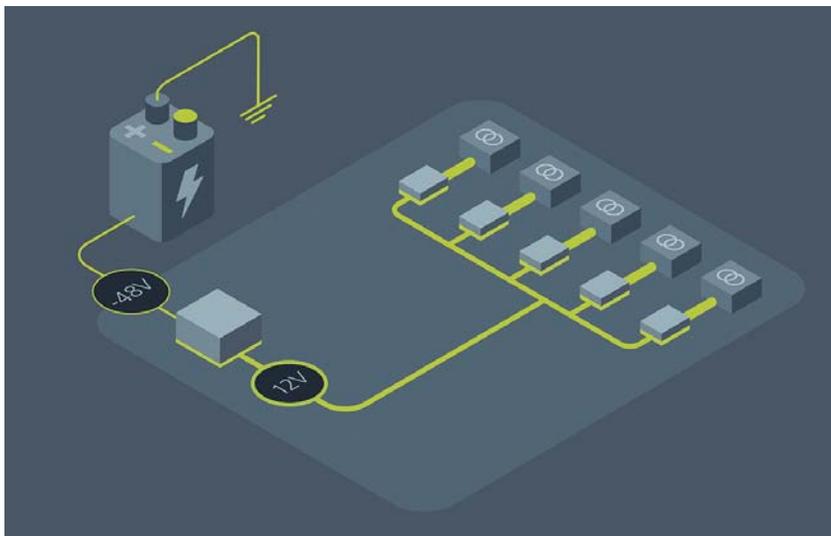
이러한 48V~12V 문제를 해결하기 위해서 중간 버스 아키텍처(IBA) (Intermediate Bus Architecture)가 구축되어 통신 및 네트워크 인프라 어플리케이션에서 사실상의 표준이 되었다.

여러 회사에서는 레귤레이션이 되지 않는 절연형 고정 비율(1/4) 컨버터인 중간 버스 컨버터 IBC(Intermediate Bus Converters)를 개발했는데, 이는 여러 소성을 지원하기 위해 DOSA 및 POLA 핀아웃 표준을 충족하는 오픈 프레임 패키지를 기반으로 개발되었다.

포지티브 배터리 단자는 갈바닉 부식을 막기 위해 접지에 연결되어 네거티브 48V의 전압을 발생시키기 때문에 절연은 SELV IBA의 안전 요건이 아니다. 절연형 고정 비율 버스 컨버터를 DC-DC 변압기로 사용하면 -ve 48V 입력을 사용하여 다운스트림 부하 지점(PoL) 레귤레이터에 +12V 출력을 제공할 수 있다.

데이터 센터의 인공지능(AI)과 같은 고급 어플리케이션은 12V에서 48V PDN으로, IBA에서 새로운 아키텍처로의 전환을 촉진하고 있다. 프로세서 및 관련 서버 랙 전력 수준이 크게 증가하여 12V 및 IBA가 제공할 수 있는 수준을 간단히 초과했다.

자동차 시장의 경우, 차량의 CO₂ 배출 감소를 요구하는 법률과 새로운 기준을 충족해야 할 필요성은 전기차를 모색하게 하는 촉매제였다. 그 결과 새로운 마일드 하이브리드 동력 전달 장



치, 안전 및 엔터테인먼트 시스템 설계를 지원하는 48V 배터리가 등장했다.

새로운 고전압 PDN

더 높은 전력 요구 사항을 요구하는 시스템이 등장했지만 많은 산업에서는 여전히 부하 지점에서 구형 12V PDN 인프라를 유지하려고 함에 따라 380V 및 48V 기반 PDN을 더욱 어렵게 만든다. 순수 전기(EV) 및 고성능 차량의 800V 배터리와 같은 새로운 고전압 벌크 파워 소스는 추가적인 PDN 문제를 초래한다.

이러한 새로운 시스템과 어플리케이션에 대한 전력 공급은 다음의 세 가지 기본 세그먼트로 구분될 수 있다.

- ① 벌크 전력을 48V로 변환
- ② 48V에서 중간버스(Intermediate bus) 전원 공급 후 12V 변환, 때로는 레귤레이션
- ③ 12V 및 48V로부터 변환 및 레귤레이션하여 부하 지점(PoL)으로 전력 공급

벌크 전력 공급

중간(Intermediate) 48V PDN으로 벌크 전력 변환을 혁신할 수 있는 기회는 다음과 같다.

- ① 더 높은 전력 밀도 달성
- ② 불필요한 중복을 피하고 확장성을 달성하기 위한 모듈식 접근 방식 전개
- ③ 열에 적합한 평면 패키징으로 고급 쿨링 기술 활성화
- ④ 고효율 고정 비율 컨버터 사용과

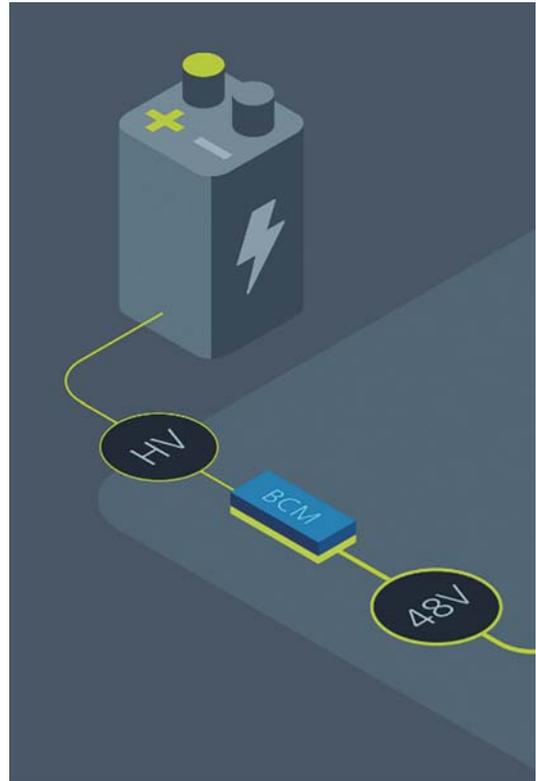
다운스트림 부품에서의 레귤레이션

전력 수준이 계속 높아짐에 따라 벌크 전력 시스템 설계의 과제는 점점 더 복잡해지고 있다. 높은 전력 손실로 인해 벌크 파워 컨버터의 크기와 무게를 관리하고 쿨링하는 것이 대부분의 어플리케이션에서 주요 관심 부분이다. 크기와 무게가 문제되지 않으면 매우 높은 효율을 달성하고 팬 쿨링으로 열관리를 달성할 수 있다.

그러나 대부분의 어플리케이션에서는 더 높은 전력 밀도를 요구한다. 파워 시스템 엔지니어는 디스크리트로부터 열까지 설계하는 대신 이러한 대형 컨버터를 설계하고 구축하기 위해 파워 모듈을 사용할 때의 이점을 고려해야 한다. 혁신적인 아키텍처, 토폴로지, 제어 시스템 및 패키징과 함께 파워 모듈은 벌크 PDN 성능을 개선하는 새로운 방법을 제공한다.

벌크 전력이 AC 또는 고전압 DC인 경우 절연이 필요하다. 절연 단계는 모든 컨버터에서 전력 손실을 추가하지만 중간 버스 PDN이 PoL 단계(즉, 48V에서 12V)에 대한 레귤레이션을 포함하는 경우 레귤레이션이 필요하지 않을 수 있다. 이 접근법에 대한 두 가지 고려 사항은 다음과 같다.

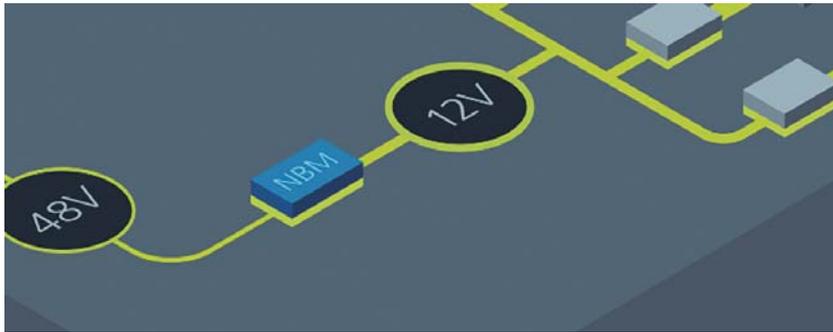
- ① 전원의 입력 범위(고정 비율 컨버터는 변압기와 마찬가지로 권선



비 또는 K 계수에 따라 이 입력 전압을 출력에 반영함)와 다운스트림 컨버터/레귤레이터의 입력 전압 범위

- ② 3상 AC 전원의 경우 시스템에 PFC(역률 개선 회로)가 필요

데이터 센터 및 엑사스케일(Exascale) 컴퓨팅은 일반적으로 제한된 공간에서 최대 처리 성능을 요구하므로 고밀도 부품 및 고급 쿨링 기술에서 큰 혜택을 볼 수 있다. 경우에 따라 전체 서버가 플루오린화(fluorinated) 육조에 배치되는 경우 완전 침수 냉각이 구현된다. 대안으로, 다른 고성능 컴퓨팅 어플리케이션에서는 히트 파이프 및 냉각판 기술을 사용하여 쿨링 기술을 개발하고 있다. 이러한 어플리케이션에서는 벌크 전력



시스템의 전력 변환 및 레귤레이션 단계에 얇은 평면 패키지가 필요하다.

중간 버스(Intermediate Bus) 및 부하 지점 전력 공급 혁신

48V 중간 버스 PDN을 혁신할 수 있는 기회는 다음과 같다.

- ① 48V에서 12V로 변환하기 위한 비절연형 고정 비율 버스 컨버터 활용
- ② 고전력 밀도 레귤레이션 파워 모듈 컨버터 전개
- ③ IBA보다 고성능 아키텍처 통합: FPA(Factorized Power Architecture)

12V 중간 버스 PDN에서 48V PDN으로 이동하면 문제가 발생하지만 장점도 있다. PoL 레귤레이터에 물리적으로

가능한 가깝게 48V 전력 공급을 최대화하면 케이블, 커넥터 및 PCB 구리 파워 플레인, 크기, 무게 및 비용이 줄어든다. PoL 공간 제약은 종종 문제가 되므로 컨버터는 높은 전력 밀도와 효율을 가져야 한다. 버스 컨버터의 입력 전압은 권선비 또는 K 계수 ($V_{IN} / K = V_{OUT}$)로 나눈 값에 따라 결정되기 때문에 입력 전압 변동을 PoL 레귤레이터가 처리할 수 있다면 비절연형 고정 비율 버스 컨버터가 최선의 선택이다. 벌크 전력 컨버터가 적절한 레귤레이션 공차로 설계된 경우 이 설계 방식은 실현 가능하고 유리하다.

출력 전압 범위가 넓은 벌크 파워 컨버터 또는 벌크 전원(예: 48V 배터리)의 설계는 PoL 레귤레이터 입력 전압 사양에 따라 레귤레이션형 DC-DC 컨버터가 필요할 수 있다. 48V~12V 단계에 레귤레이션을 추가하면 토폴로지에 따라

컨버터의 효율이 2~4% 감소한다.

성능이 크게 향상되고 PoL에서 전류 밀도가 높은 PDN 설계를 실제로 발전시키기 위해 고려해야 할 새로운 아키텍처는 바이코의 FPA(Factorized Power Architecture)이다. FPA를 사용하면 전류 멀티플라이어라는 새로운 유형의 컨버터가 부하에 매우 가깝게 배치되어 고효율 및 고밀도로 48V에서 부하로 직접 전압을 변환할 수 있다. 컨버터와 부하 간 PDN 임피던스는 매우 높은 전력 손실의 원인이 될 수 있고 di/dt 과도 성능에 영향을 줄 수 있는데 FPA는 이를 감소시키므로 고전류 어플리케이션에서 매우 유리하다.

전류 멀티플라이어는 고정 비율 컨버터이므로 FPA 설계를 완료하려면 업스트림 레귤레이션 단계가 필요하다. 전력 손실을 최소화하면서 효율과 밀도를 최대화하기 위해 레귤레이터 모듈은 입력 및 출력 전압을 48V로 설정하고 전류 멀티플라이어의 K 계수를 선택하여 부하에 필요한 출력 전압을 제공한다.

여러 산업에서 전력 수준이 높아짐에 따라 더 높은 전압의 PDN으로 전환하면 문제를 완화할 수 있지만 복잡성이 증가한다. 파워 시스템 엔지니어는 뛰어난 시스템 성능 이점을 제공할 수 있는 새로운 공급업체의 새로운 토폴로지 및 아키텍처를 평가해야 한다. 진보, 발전 및 혁신에는 항상 새로운 사고, 새로운 아이디어 및 새로운 접근 방식이 필요하다. 변화하는 비즈니스 요구 사항에 따라 새로운 가능성을 수용해야 한다. 대안을 탐색하고 연구하면 여러 가지 면에서 보람을 느낄 수 있다. 

DC-DC: Conversion and Regulation

