

모바일 로봇 성능 최적화

수퍼 컴퓨팅 애플리케이션에 대한 기본적인 엔지니어링 원칙과 경험을 바탕으로 바이코의 고정비율 전력 컨버터와 넓은 입력 범위의 고효율 ZVS(Zero-Voltage Switching) 벅 또는 벅-부스트 레귤레이터를 활용하여 첨단 로봇틱스 전력 시스템의 성능 및 설계 유연성을 향상시킬 수 있는 방법을 살펴보자.

글/안나 지아손(Anna Giasson), 스타브로스 도코폴로스(Stavros Dokopoulos), Vicor Corporation

향상된 가동범위와 지속시간 및 페이로드 지원

최적화된 전력분배 네트워크(PDN: Power Delivery Network) 설계를 통해 모바일 로봇의 가동범위와 생산성 및 유연성을 향상시킬 수 있다. 이러한 전력분배 네트워크는 배터리 전원 전압의 변동과 고전력 AI 컴퓨팅 시스템 및 모터 드라이브, 센서, 통신 시스템, 로직 보드 및 프로세서와 같은 광범위한 부하로 인해 복잡한 전력 시스템 설계 및 아키텍처가 고려되어야 한다.

또한 고전력 스위칭 레귤레이터를 사용하여 고밀도 시스템을 개발하는 경우, 기본적으로 발생하는 EMI 문제도 고려해야 한다. 이러한 로봇틱스 전력 시스템은 특유의 여러 문제들을 가지고 있으며, 이를 해결하기 위한 새로운 접근방식이 필요하다.

최적화된 전력분배 네트워크(PDN) 설계를 통해 모바일 로봇의 가동범위와 생산성 및 유연성을 향상시킬 수 있다.

바이코(Vicor)의 고밀도, 고성능 전력 모듈을 이용한 모듈식 전력분배 네트워크 접근방식은 이러한 문제를 해결할 수 있다. 수퍼 컴퓨팅 애플리케이션에 대한 기본적인 엔지니어링 원칙과 경험을 바탕으로 바이코의 고정비율 전력 컨버터와 넓은 입력 범위의 고효율 ZVS(Zero-Voltage Switching) 벅 또는 벅-부스트 레귤레이터를 활용하여 첨단 로봇틱스 전력 시스템의 성능 및 설계 유연성을 향상시킬 수 있는 방법을 살펴보자.

고려할 수 있는 두 가지 접근방식은 다음과 같다.

- IEC에서 정한 110VDC SELV(Safety Extra-Low Voltage) 제한 조건 내에서 최대 75V의 전력분배 네트워크에 넓은 입력 전압 범위를 갖춘 벅 및 벅-부스트 레귤레이터를 사용한다. 이를 통해 저전압 로봇틱스 전력 변환 단계를 절연 DC-DC 제품에 비해 더 작게 구현할 수 있으며, 더 크거나 작은 플랫폼에 사용되는 더 높거나 낮은 배터리 전압에 대응할 수 있다.
- 고정비율 컨버터를 사용하여 소스의 전압을 효율적으로 높이거나 낮출 수 있으며, 동일한 전력분배 네트워크 내에서 동적 응답 기능을 향상시키거나 훨씬 더 높은 전압 소스에 대응할 수 있다.

이러한 두 가지 토폴로지의 다양한 전력분배 네트워크 아키텍처는 설계자들이 설계 목표를 충족할 수 있는 모바일 시스템을 달성할 수 있도록 여러 옵션을 제공한다.

모듈식 접근방식의 크기, 무게, 성능 이점

첨단 로봇을 위한 전력 시스템을 설계할 때 새로운 형태의 페이로드가 요구되면, 라이더(LiDAR) 및 GPU, 서보-드라이브 또는 LED 투광조명과 같은 정전류 부하에 이르기까지 어떠한 부하에 전원을 공급하든 상관없이 필요한 각 부하 전압을 위해 신뢰할 수 있는 DC-DC 컨버터를 그냥 재사용하는 경우가 많다. 이는 편리하기는 하지만, 시스템이 갈수록 복잡해지고 있기 때문에 전력 요구사항과 아키텍처를 보다 총체적으로 살펴볼 필요가 있다. 최신 전력 컨버터 기술을 이용하여 전력 시스템을 설계하면, 크기와 무게, 성능 및 비용 등에서 상당한 이점을 얻을 수 있다. 하지만 이러한 이점은 넓은 범위의 부하 허용오차와 좁은 배터리 전압 범위, 더 적은 수의 절연 장벽을 가진 시스템과 최대 전력 지속시간이 짧고, 유휴시간이 긴 시스템에서만 효과를 발휘한다. 보다 최신의 고효율, 비절연 벽 또는 벽-부스트 컨버터를 사용하면, 24V 이상의 입력 전압에서도 전체 시스템 성능을 향상시킬 수 있다.

고정비율 컨버터는 낮은 임피던스 경로와 빠른 과도응답을 제공한다. 이를 스마트하게 배치함으로써 긴 저전압 케이블에서 발생하는 전압 강하나 레귤레이션 DC-DC 컨버터 고유의 응답 지연 없이 모터 드라이브와 같은 부하에 신속하게 전류를 공급할 수 있다.

두 가지 접근방식 모두 여기에서 살펴볼 새로운 아키텍처 기반 솔루션으로 구현할 수 있다.

일반적인 로봇틱스 시스템의 요구사항

그림 1에 나타난 것처럼, 배터리 소스와 다양한 고전력 부하를 가진 두 가지 로봇틱스 플랫폼을 살펴보자. 간단하게 첫 번째는 57V 부동 전압의 15-S LiFePO4로 구성된 배터리로, 이는 조정기나 다른 서보 드라이브를 갖춘 모든 지형에 적용 가능한 라스트-마일 배송 로봇에 사용되며,

그림 1. 두 개의 로봇 플랫폼은 크기가 매우 다르지만, 전력분배 네트워크는 많은 공통점을 가지고 있다. 모듈식 접근방식은 초기 설계에 유연성을 제공하고, 일반적으로 후속 전력 시스템 설계를 보다 신속하게 처리할 수 있도록 해준다.

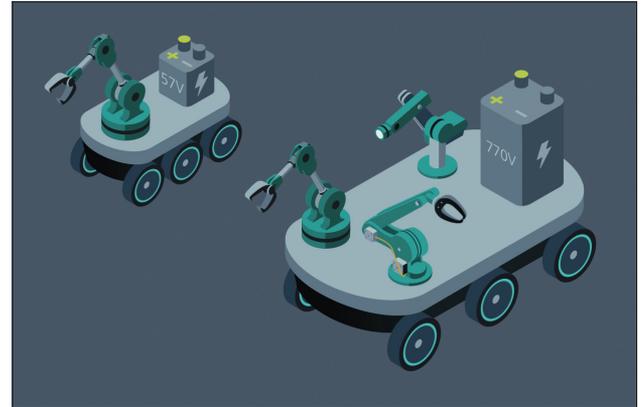
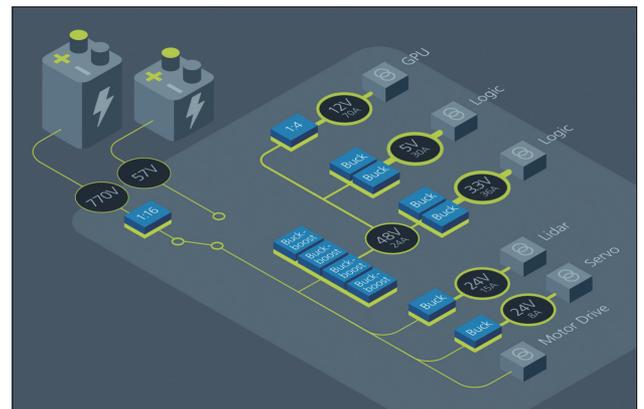


그림 2. 110VDC SELV(Safety Extra-Low Voltage) 배터리로 구동되는 저전압 서플라이 또는 48V까지 변환되는 더 큰 차량의 770V 배터리의 전력분배 네트워크



57V는 24V 또는 48V 기반 시스템에 비해 에너지 밀도를 높일 수 있다.

또한 자율주행 트럭이나 수확용 로봇과 같이 훨씬 더 큰 플랫폼에 이와 동일하거나 보다 강력한 ‘두뇌와 힘’을 장착해야 하거나 이러한 플랫폼을 위해 770V 부동 전압을 갖춘 200-S 배터리를 완전히 처음부터 설계해야 한다고 생각해 보자.

부하 요구사항은 다음과 같다.

- 재생성 기능을 갖춘 48V 및/또는 24V 서보 드라이브
- 12V GPU 및 CPU 보드, 50A 미만
- 수십 암페어의 5V 및 3.3V 레일

• 추가 주변장치에 필요한 모든 저전력 보조 전압

부하 요구사항을 역방향으로 작업하여 필요한 각 전압을 어떻게 생성하는지 보여주는 전력 트리를 구성할 수 있다(그림 2). 이러한 방법으로 설계자는 설계의 레귤레이션 단계와 절연 단계, 변환 단계 수를 최적화할 수 있다. 이를 통해 불필요하게 복잡한 아키텍처와 노이즈, 안정성 문제 및 바람직하지 않은 전압 강하 등과 관련된 손실을 줄이고, 확장 가능한 다용도의 간단하고, 효율적인 전력 솔루션을 구현할 수 있다.

저전압 소스: 고효율의 넓은 입력 범위를 갖춘 벅 및 벅-부스트 컨버터

24V 또는 57V 배터리(그림 2)와 같은 초저전압 소스에서 전원을 공급하는 경우, 모든 부하는 배터리 음극에 연결되기 때문에 절연 DC-DC 컨버터가 필요하지 않은 경우가 많다. 반면 낮은 대기전력으로 96%~97%의 효율을 제공하는 최신 고전압 벅 컨버터를 사용하면, 배터리 수명을 향상시킬 수 있는 훨씬 뛰어난 설계를 구현할 수 있다. 벅 컨버터가 ‘스윗 스팟(Sweet Spot)’에 가깝게 동작할 수 있는 입력 대비 출력 전압 비율을 가지고 있다면, 공통모드 EMI 노이즈가 거의 발생하지 않는다. 이 예제에서는 최적의 벅 동작을 위해 57V에 이르는 배터리 전압을 12V까지 스텝다운이 가능해야 한다.

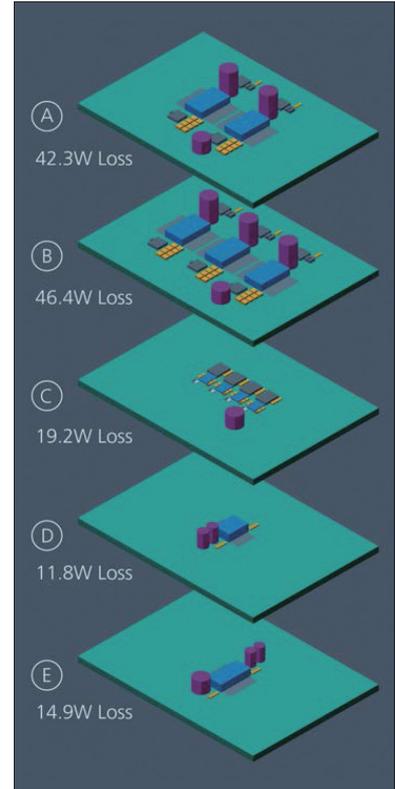
대부분의 하드 스위칭 MOSFET 기반 벅 컨버터는 스위칭 손실로 인해 지정된 ‘97%효율’에서 V_{IN} 이 더 낮아지는 것과 달리, 24V 미만에서 전원이 공급될 때 과열이 발생한다. 예를 들어, 24V 플랫폼에서 48V 또는 57V 플랫폼으로 업그레이드하면, V_{IN} 에 비례하여 기하급수적으로 스위칭

손실이 확장되어 훨씬 더 많은 열을 생성한다. 스위칭 주파수를 줄이면, 손실과 최소 온타입 문제는 감소하지만, 출력 인덕터와 커패시터 크기를 증가시킨다.

48V 백플레인 을 빠르게 채택하고 있는 다른 고전력 컴퓨팅 및 자동차 애플리케이션을 살펴보면, 로봇틱스 시스템을 개선할 수 있는 유사한 모델을 확인할 수 있다. 이를 통해 일부 제조업체들은 벅 컨버터의 효율을 >48V-12V 출력에서 실제 96%~97%로 개선했으며, 2.5V의 낮은 출력에서도 유사한 결과를 얻었다.

실제 선택 가능한 측면에서 살펴보기 위해, 그림 3은 40V~60V 입력을 이용하는 여러 600W, 12V 컨버터에 대해 80% 부하의 동일한 조건에서 측정한 일반적인 효율과 손실 및 크기를 보여준다.

그림 3. 필요한 외부 부품을 비롯해 확장이 가능한 600W, 48V-12V 솔루션 (A) 36V~75V, 360W 절연 레귤레이션 모듈 2개, (B) 43V~154V, 240W의 광범위한 절연 및 레귤레이션 모듈 3개, (C) 30V~60V, 216W, 18A 벅 컨버터 4개, (D) 40V~60V, 750W의 고정비율 컨버터 1개, (E) 40V~60V, 750W의 벅-부스트 + 고정비율 1개, 생산 유닛을 사용하여 측정된 전력 손실



- **솔루션 A:** 개발 과정에서 대부분의 설계자들이 공통적으로 가장 많이 선택하는 ZVS 절연 플라이백 컨버터이다.
- **솔루션 B:** 이 솔루션은 더 넓은 입력 전압 범위를 위해 고전압 트랜지스터를 갖춘 또 다른 ZVS 절연 플라이백 컨버터이다. 이는 다중 입력 전압 플랫폼을 처리하는데 유용할 수 있다.

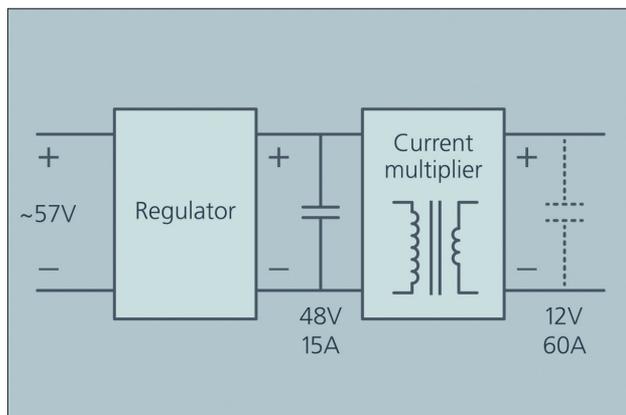
24V 또는 57V 배터리와 같은 초저전압 소스에서 전원을 공급하는 경우, 모든 부하는 배터리 음극에 연결되기 때문에 절연 DC-DC 컨버터가 필요하지 않은 경우가 많다.

- **솔루션 C:** 스위칭 손실이 낮고, 트랜스포머 손실이 없는 동기식 ZVS 벡 컨버터이다.
- **솔루션 D:** SACTM(Sine Amplitude Converter, 고정비율 DC-DC 컨버터 유형)는 V_{IN} 을 ¼로 낮춘다. 이 솔루션은 높은 대역폭과 비레귤레이션 특성으로 인해 스토리지 요소가 거의 필요하지 않다.
- **솔루션 E:** 솔루션 D의 SAC와 벡-부스트 컨버터가 함께 패키징되어 있어 레귤레이터의 손실이 추가되지만, 40V~60V의 더 좁은 입력에서도 효율은 쿼터-브릭 DC-DC에 필적하며, 크기는 1/6에 불과하다.

스위칭 주파수를 낮추거나 크기를 증가시키거나 성능을 너무 저하시키지 않고도, 일반적인 벡 컨버터로 더 큰 전압 단계를 처리하기 위해서는 보통 데이터센터 애플리케이션에 이용되는 모듈식 2-스텝 DC-DC 접근방식(FP: Factorized Power)을 사용할 수 있다(그림 4). 36V~75V 벡-부스트 레귤레이터는 97.8%의 4:1 전류 멀티플라이어 입력(다음에 논의될 고정비율 컨버터)에서 96%~98%의 효율로 정확하게 48V를 설정하여 더 작은 공간과 높은 동적 성능, 안정성 및 효율성을 달성할 수 있다.

전압 레귤레이션을 개선하기 위해 전류 멀티플라이어 출력에서 레귤레이터의 피드백을 가져올 수 있다. 또한 이 글의 후반부에 설명된 것처럼, 소스 전압이 모터 드라이브 환경에서 60V를 초과할 수 있기 때문에 60V 보다 높은 75V 정격으로 선택되었다.

그림 4. 2개의 변환 단계로 구성된 720W(1kW 피크), 48V-12V 벡 컨버터 다이어그램



고정비율 컨버터: 고성능의 전압 변환 및 절연

SAC(Sine Amplitude Converter)와 같은 고정비율 컨버터(그림 3D)는 벡 컨버터 또는 절연 DC-DC에 비해 최상의 효율 성능을 제공한다. 이름에서 알 수 있듯이 이 컨버터는 입력 전압(V_{IN}) 대 출력 전압(V_{OUT})이 레귤레이션되지 않고 고정비율 $K = V_{OUT}/V_{IN}$ 으로 변환된다. 입력 전압의 변동은 어떠한 제어 루프의 지연 없이 K에 의해 스케일링된 값으로 변동되어 출력된다.

개념적으로 SAC 컨버터의 내부 동작은 3단계로 구분할 수 있다.

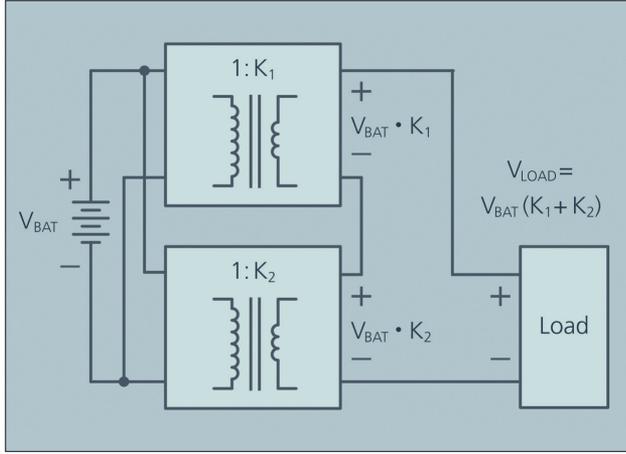
- DC 입력을 정현파로 변환하는 입력 측 스위칭 단계
- 입력 측과 출력 측 간의 순환 비율에 따라 AC 전압/전류를 조정하는 이상적인 트랜스포머 단계
- 정현파 트랜스포머 출력을 다시 DC로 변환하는 출력 측 동기식 정류기

고정비율 컨버터는 스위칭 단계에서 ZCS/ZVS를 사용하여 스위칭 손실을 최소화하고, 하드 스위칭 컨버터에 비해 일반적으로 수 MHz 범위의 더 높은 스위칭 주파수로 동작이 가능하기 때문에 최대 98%에 이르는 효율을 달성할 수 있다. 또한 이에 비례하여 반응성 구성요소(Reactive Component)와 EMI 필터를 감소시킴으로써 작은 풋프린트와 훨씬 높은 전력밀도를 구현할 수 있다.

고정비율 컨버터는 기본적으로 전력분배망에 사용되는 고정비율 컨버터인 AC 트랜스포머와 유사하다. 트랜스포머는 전세기 전력분배망에서 실질적으로 중요한 역할을 수행한다. 소스 및 부하 전압을 여러 번 배가시켜 장거리에 걸쳐 전력을 전송함으로써 고전압에서도 훨씬 낮은 전류가 전송되기 때문에 경량의 저비용 전송라인을 구현할 수 있고, PoL(Point of Load) 근처의 저전압 케이블에서만 짧게 실행할 수 있다.

이외에도 여러 유사점을 가지고 있는데, 고정비율 컨버터는 양방향 동작 및 재생성 기능을 통해 배터리 전압을 효율적으로 스텝업 할 수 있고, 훨씬 더 높은 전압 부하에 전력을 공급할 수 있으며, 기본적으로 가상의 고전압 배터리 및/또는 전송라인을 구현할 수 있다. 또한 애플리케이션에

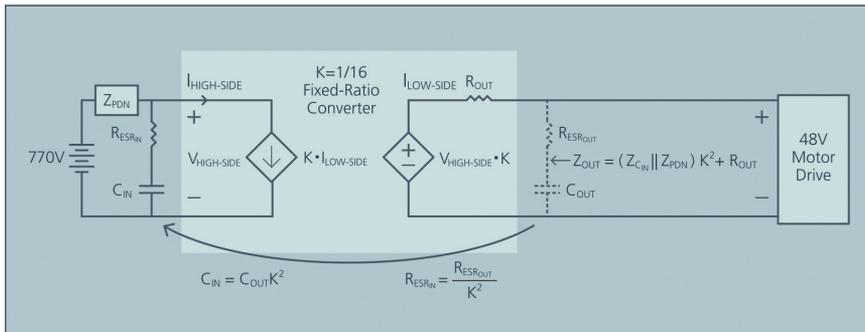
그림 5. 출력 전압을 합산할 수 있는 절연, 고정비율 컨버터의 병렬 입력 및 직렬로 연결된 출력



서 고전압 배터리 또는 버스로 제동 에너지를 재생성할 수도 있다. 고정비율 컨버터는 쉽게 병렬로 연결이 가능하며, 기본적으로 각 병렬 브랜치의 임피던스에 기반한 전류 공유 정확도를 사용하는 전압 강하 공유 방식으로 전류를 공유할 수 있다.

대부분의 DC-DC 컨버터와 마찬가지로 절연, 고정비율 컨버터는 출력을 직렬로 연결하여(그림 5) 배터리에서 다중 절연 출력을 생성할 수 있기 때문에 차량의 보조 배터리를 제거하고, 컨버터 수와 시스템 무게를 줄이는 것은 물론, 로봇 프레임 설계를 간소화할 수 있다. 예를 들어, 낮은 임피던스의 12V 및 24V 레일이 필요한 400V 시스템을 가정해 보자. 출력을 직렬로 연결한 두 개의 절연된 1:32 컨버터는 직렬 연결 지점이나 중간 지점을 태핑하여 두 버스를 모두 생성할 수 있다. 가능성은 무한하다.

그림 6. 임피던스 반사는 유효 소스 임피던스를 K2만큼 줄일 수 있어 필요한 커패시턴스도 감소한다.



임피던스 반사로 유효 소스 임피던스 감소

고정비율 컨버터는 그리드 연결 AC 트랜스포머와 유사하게 1차측에서 2차측으로 임피던스를 반사한다. 이는 임피던스를 트랜스포머에서 반사할 때 변환 비율의 제곱으로 규모가 조정되기 때문에 로봇 애플리케이션에 유용하다.

임피던스 반사 효과는 앞에서 사제로 제시한 두 종의 모바일 로봇과 같은 저전압 시스템에서도 벌크 바이패스 커패시터와 같은 스토리지 요소와 EMI 필터 및 기타 회로의 파라미터 활용을 극대화하는데 활용할 수 있다. 서보 드라이브 또는 AI 프로세서와 같은 매우 동적인 부하를 위해 저전압으로 변환하기 전에 대형 로봇 프레임에 고전압을 분배하는 770V 자율주행 차량 시스템을 생각해 보자. 소스 대비 부하의 관점에서 보면, 모든 분배 임피던스와 함께 배터리 임피던스는 실제 임피던스 보다 상당히 낮게 나타날 것이다.

K = 1/16 고정비율 컨버터(BCM4414)를 이용하여 770V 배터리 전압을 48V까지 변환하는 경우, 소스 임피던스가 감소하면서 그림 6에 나타난 것처럼, 입력 커패시턴스 또한 256 만큼 줄어든다. 이러한 입력 커패시터의 물리적 크기는 RESR, 정격 전압, 수명 및 성능을 고려할 때 등가 출력 커패시터 크기의 작은 부분을 차지하지만, 등가 출력 커패시터는 컨버터 자체 크기에 필적한다. 레귤레이션 DC-DC 컨버터를 통해 어느 정도 해결할 수 있다. 이러한 컨버터의 레귤레이션 루프는 고정비율 컨버터에 비해 훨씬 낮은 대역폭을 갖는다. 이와 연관된 지연과 많은 컨버터의 불연속 전도 모드와 관련된 지연을 통해 임피던스가 증가되는 효과를 제한할 수 있다.

이와 같이 매우 역동적인 강력한 부하의 경우, 저항성 및 유도성 임피던스를 줄임으로써 동적 및 정적 성능을 향상시킬 수 있다. 모터는 보통 순간적으로 전류 변화가 큰 고주파 펄스를 사용하여 구동되기 때문에 상당한 소스 임피던스가 단자

에 있는 전압 및 전류를 왜곡하게 된다. 마찬가지로 광범위한 전력분배 네트워크 내의 기생 인덕턴스는 모터 권선에 사용 가능한 전류를 제한하여 토크를 제한할 수 있다.

로보틱스 애플리케이션의 고려사항

경량의 낮은 임피던스의 하네싱과 전력분배 네트워크의 안정성

앞에서 논의한 내용은 전력 요건의 증가에 따른 전력 분배 라우팅 및 하네싱을 위한 간단한 원리를 통해 제시된 컨버터를 사용하여 부하에 근접한 부하 전압으로 변환하는 더 높은 전압 분배에 대해 살펴보았으며, 이를 통해 더 낮은 전류가 분배 손실 및 (동적) 전압 강하, EMI 간섭을 줄이는 것을 알 수 있었다. 또한 긴밀한 루프와 연선 또는 PCB 평면 상의 인접 라우팅과 함께 필드 캔슬(Field-Cancellation) 기능을 활용한 낮은 인덕턴스의 레이아웃 및 배선도 도움이 될 수 있다.

일반적으로 컨버터는 안정성 분석을 위한 미들브룩 기준(Middlebrook Criterion)에 따라 **그림 8**의 예와 같이, 특히 전압 강하를 제한하기 위한 동적 부하와 함께 제어 루프의 최대 대역폭까지 부하 임피던스 보다 10배 적은 소스의 AC 임피던스가 필요하다. 따라서 전류용량을 위해 와이어 게이지를 최적화하면서도, 컨버터 입력에서 적절한 크기의 커패시터로 AC 임피던스를 줄일 수 있으며, 더 긴 와이어에서 실행되는 경우에도 전류 손실 및 간섭을 줄일 수 있다.

효율성 및 배터리 수명

DC-DC 컨버터의 손실은 부하 보다 상당히 낮은 경우가 많기 때문에 배터리 수명과 관련하여 무시할 수 있는 수준으로 간주할 수 있지만, 관련 페이로드가 절전 모드에 있을 때 무부하 손실의 형태로 합산되어 누적될 수 있다. 데이터시트를 검토하면 알 수 있듯이, 트랜스포머 기반 DC-DC 컨버터는 메인 스위칭 트랜스포머의 자기화/자기소거 및 제어 동작을 수행할 때 상당한 전력을 소모하는 경향이 있으며, 이는 전체 전력 용량의 최대 0.5% ~ 1%까지 쉽게 누적될 수 있다.

일부 레귤레이션 컨버터는 무부하에서 훨씬 더 많은 전력을 소모하기 때문에 출력을 안정화하기 위해 최대 부하의 수 퍼센트에 해당하는 사전 부하를 필요로 하거나 구현해야 한다.

필요하지 않을 때는 이러한 컨버터와 해당 부하를 비활성화하는 것이 좋은 옵션이지만, 비활성화 상태에서도 상당한 전력 손실이 발생할 수 있다.

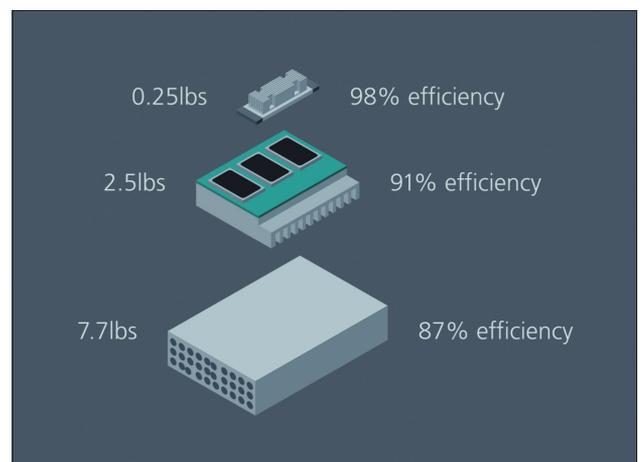
가능한 적은 수의 트랜스포머 기반 컨버터를 선택하는 것이 좋으며, 이상적으로는 절연장벽 당 하나이다. 그런 다음, 동일한 리턴에 대한 추가 출력을 위해 벅 또는 벅-부스트 컨버터를 선택하여 유휴 손실을 비례적으로 줄일 수 있다.

대부분의 벅 또는 벅-부스트 컨버터는 펄스 스킵핑(Pulse-Skipping) 기법이나 보다 첨단 기법을 활용하기 때문에 대기전류가 밀리 암페어 수준에 불과하다.

고정비율 또는 변환 레귤레이션?

부하의 입력 전압 범위가 소스의 전압 범위와 같거나 더 넓은 경우, 고정비율 컨버터가 크기 및 효율, 성능 면에서 가장 좋은 옵션이 될 수 있다. 770V-48V, 1.5kW 고정비율 컨버터(**그림 7**)는 트랜스포머와 레귤레이션 단계에서 추가 손실이 발생하는 레귤레이션 DC-DC 순방향 컨버터에 비해 손실이 약 1/2 ~ 1/3 정도에 불과하다.

그림 7. (위에서 아래로) 히트싱크가 있는 K = 1/16의 고정비율 컨버터, 상용으로 공급되는 히트싱크가 있는 레귤레이션 DC-DC 컨버터 어레이, 발전기구동 AC-DC 컨버터(팬 냉각식)

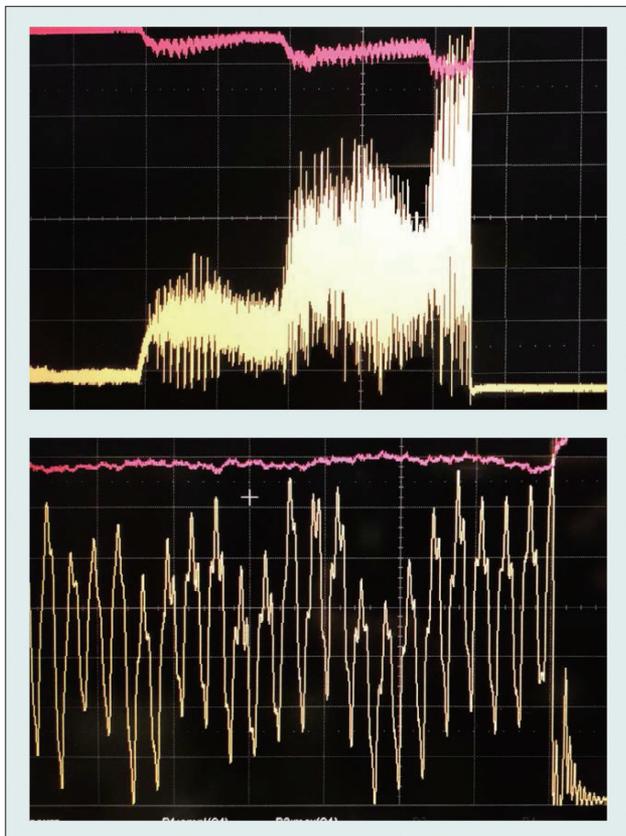


공정하지는 않지만, 이전에 차량의 AC 발전기에서 동일한 드라이브에 전원을 공급했던 AC-DC 컨버터가 정류기 및 일반적인 PFC 부스트 단계에서 추가 손실이 발생했던 것과 비교해 볼 수 있다. 이는 빌딩이나 대형 장비 또는 로봇 차량에 DC 그리드를 활용할 경우의 이점을 보여준다. 후자의 경우, 최근 개발된 두 가지 사례를 보면, 유사한 조건에서 각각 94% 및 91%를 달성할 수 있었지만, 고정비율 변환기는 동일한 레귤레이션 기능을 가지고 있지 않았으며, 관련 손실도 발생하지 않았다.

고도의 동적 부하

배터리에서 모터 드라이브로 직접 전원을 공급하는 경우, 배터리 및 케이블 임피던스로 인해 전압 강하가 발생하게 되며, 이러한 임피던스는 전류를 제한하기도 한다. 전압

그림 8. (위) 가속 단계 및 PWM 펄스를 보여주는 6kW(8kW 피크) 고정비율 컨버터를 통해 48V 모터를 가속하는 100V/div에서의 770V 입력(빨간색) 및 2A/div에서의 전류(노란색)에 대한 20ms/div에서의 오실로스코프 이미지, (아래) 100μs/div에서의 피크 세부 사항



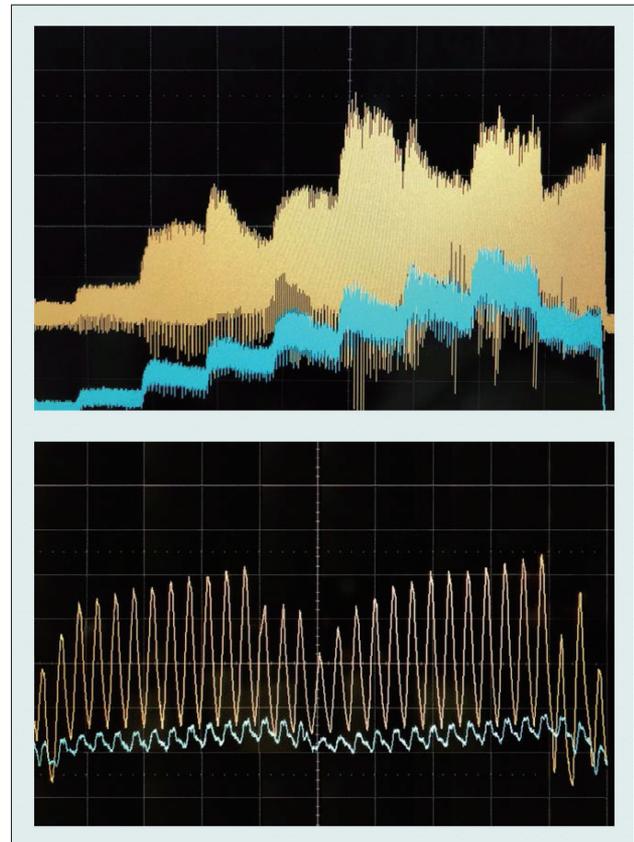
강하와 전류 제한 모두 소스에서 부하까지의 거리 및 와이어 게이지와 상관관계를 가지고 있다.

고정비율 컨버터를 사용하면, 부하에 의한 유효 소스 임피던스는 낮게 나타나지만, 컨버터와 소스의 피크 전류는 궁극적으로 증가하게 된다. 과전류 및 단락회로 결함을 보호하기 위해 컨버터에 내장된 보호 기능은 매우 동적인 부하로 인해 트리거될 수 있기 때문에 설계 시 이를 고려해야 한다.

예를 들어, 그림 8은 4개의 35A, $K = 1/16$ 고정비율 컨버터(그림 7과 같은)로 공급되는 770V 입력 전압 및 전류를 보여주고 있다. 그림 6을 블록 다이어그램으로 사용하여 48V 모터 드라이브에 전원을 공급하기 위해서는 $R_{OUT} = 3.5m\Omega$ 및 $Z_{PDN} = 10\Omega$ (무시할 만한 배터리 임피던스 포함)이 된다.

컨버터를 모터 드라이브 근처에 배치하면, 10Ω의 소

그림 9. 40A/div에서 180APK의 컨버터 출력(노란색)과 2A/div에서 입력 전류(파란색). 입력에 배치된 커패시터를 통해 리플이 감소한다. (좌) 20ms/div, (아래) 0.1ms/div.



스는 48V 케이블이 없는 R_{OUT} 를 포함한 총 $43.5m\Omega$ 에 대해 불과 $10/256 = \sim 40m\Omega$ 으로 나타난다. 소싱된 피크 전류는 14.7A이고, 저임피던스 컨버터는 평균 전류 외에도 PWM 전류 피크를 제공하기 때문에 4V~5V 더 높은 피크 전류 성능을 지정해야 한다.

그림 9는 동작 중의 임피던스를 반영한 것이다. 이 경우 출력에 부피가 큰 10mF, 3mΩ RESR 커패시터를 사용하는 대신 10μF, 30mΩ RESR 입력 커패시터를 사용한다. 이렇게 하면 소스 케이블의 입력 리플 전류가 11에서 1AP-P로 감소하면서 AC 임피던스를 10에서 $\sim 1\Omega$ 으로 낮추고, 손실을 크게 줄일 수 있다. 피크 전류는 소형 출력 LC 필터를 사용하여 9.75A까지 떨어진다. 이는 컨버터의 8.75A 연속 전류 제한 보다 높지만, 14A 단기 전류 한계치 이내에 이르게 된다.

정전용량 부하

시동 시 모터 드라이브와 컴퓨팅 보드는 대규모 정전용량성 부하로 동작한다. 컴퓨팅 카드는 각각 벌크 입력 커패시터 및/또는 추가 LC 필터를 장착한 대규모 온보드 벽 컨버터 어레이가 있을 수 있다.

이러한 어레이에 전력을 공급하는 DC-DC 컨버터는 일반적으로 고정비율 컨버터로 모터 드라이브에 전력을 공급하는 경우처럼, 큰 정전용량의 부하로 동작하도록 사전 충전 회로 형태로 구성되거나 여유있게 지정 가능한 외부 부하 커패시턴스를 갖추고 있어야 한다.

이는 설계 후반까지도 종종 간과되는 경우가 많다. 일부 레귤레이터, 특히 배터리 충전을 위해 설계된 벽-부스트는 별도의 전류 제어 루프 및/또는 조정 가능한 소프트-스타트 시간을 허용하여 대규모 부하 커패시턴스로 사용할 수 있다.

전력 재생성 및 입력 전압 고려사항

모터 드라이브는 동적 동작 시 또는 제동 시에 발전기 역할을 할 수 있다. 앞에서 설명한 57V 예제에서, 재생성된 1차측 모터 드라이브의 역전 전류는 연결된 하네스를 통해 배터리를 충전하고, 관련 임피던스에 비례하여 경로를 따라 전압을 60V 이상으로 상승시킨다. 이를 통해 전력

바이코의 고밀도, 고성능, 고정비율 컨버터 모듈과 벽 및 또는 벽-부스트 레귤레이터 모듈을 창의적으로 사용하면, 효율적이면서도 경량의 전력분배 네트워크로 각 부하에 대한 최적의 성능을 달성할 수 있다.

을 공급받는 모든 DC-DC 컨버터는 일반적으로 제공되는 60V가 아니라 더 높은 정격 전압이 되어야 한다.

또한 **그림 6**의 회로도도 **그림 8**의 예제와 같이, 양방향 컨버터에 의해 전력이 공급되는 모터 드라이브의 전력분배 네트워크에도 적용된다. 재생성 에너지는 컨버터를 통해 Z_{OUT} 에 비례하여 저전압 및 고전압 단자의 전압을 모두 높일 수 있다. 컨버터가 단방향인 경우, 이러한 재생성 에너지는 차단되고, 출력 커패시터 C_{OUT} 만 충전된다. 따라서 재생성 에너지와 이에 따른 전압 상승은 가능한 컨버터 및 C_{OUT} 의 최대 출력 전압 사양 이내로 제한되어야 하며, 그렇지 않으면, 제동 회로를 구현하여 에너지를 흡수해야 한다.

요약

성능을 최적화하고, 가동범위 및 생산성과 유연성을 향상시키기 위해 로봇틱스 시스템 설계자들은 애플리케이션의 전력 트리를 매핑하고, 다양한 유형의 컨버터 조합 및 전력분배 네트워크 설계 전략을 평가하는 것이 좋다. 플랫폼 전반에 걸쳐 더 높은 전압을 분배하고, 필요한 전압을 POL에 근접하게 변환하는 것이 유리하다.

바이코의 고밀도, 고성능, 고정비율 컨버터 모듈과 벽 및 또는 벽-부스트 레귤레이터 모듈을 창의적으로 사용하면, 효율적이면서도 경량의 전력분배 네트워크로 각 부하에 대한 최적의 성능을 달성할 수 있다. 이러한 모듈들을 결합하면, 적절하게 넓은 입력 범위를 가진 고효율의 비절연 최종 전력단을 표준화할 수 있다. 또한 적절한 전송비로 구축된 고정비율 컨버터를 통해 고전압 배터리 아키텍처와 연결할 수 있다. 