

절연형 DC/DC 바이어스 전원 솔루션

절연 장벽을 통해 전력을 제공하기 위해서는 다양한 옵션들을 사용할 수 있다. 이런 옵션들 중 선택을 하기 위해서는 출력 수, 레귤레이션 조건, 출력 전력, 절연 정격, 작동 온도, 입력 전압 범위 같은 사양들을 잘 이해하는 것이 중요하다. 그러면 모든 시스템의 원하는 조건을 충족하면서 비용을 최소화할 수 있는 솔루션을 선택할 수 있다.

자료제공 | TI

어떤 작업에 적합한 톨을 선택하기 위해서는 그 작업을 잘 알아야 하고, 어떤 종류의 톨이 존재하는지 알아야 하며, 그 톨을 어떻게 최대한 잘 활용할 수 있는지 또한 알아야 한다.

절연 장벽을 넘어서 신호와 전력이 잘 전달되도록 하는 것은 설계자들에게 공통으로 주어진 과제이다. 절연은 안전과 노이즈 면역성을 위해서, 또는 시스템 도메인 간의 전위 차 때문에 필요할 수 있다. 일례로, 휴대전화 충전기는 합선이 발생했을 때 사용자가 전기에 직접적으로 노출되지 않도록 내부적으로 절연을 한다. 공장 로봇과 같은 애플리케이션에서는 민감한 제어 회로가 별도의 접지에 위치하며, 이 회로는 대용량의 DC 전류를 유도하고 노이즈와 그라운드 바운스를 일으키는 모터로부터 절연되어 있다.

통신과 감지는 흔히 절연 장벽을 넘어서 실행된다. CAN이나 CAN FD 프로토콜 통신을 사용하는 차량용 애플리케이션은 절연 기능과 트랜시버 구성요소를 통합한 절연형 CAN 트랜시버를 사용하여 신호를 차량의 고전압 측에서 절연할 수 있다. 산업용 애플리케이션은 장거리 직렬 통신을 위해 CAN 프로토콜을 사용할 수도 있지만 RS-485 프로토콜도 활용할 수 있다. CAN 및 CAN FD 신호를 절연하

는 것과 유사하게, 설계자는 RS-485 프로토콜용으로 설계된 절연형 트랜시버를 활용할 수 있다. 보호 계전기는 절연 전류와 전압 센서를 사용하여 그리드를 통과하는 전력을 감지한다. 트랙션 인버터와 모터 드라이브가 모터 컨트롤러에서 펄스 폭 변조 신호를 받아 절연체를 통과시키면 게이트 드라이버는 절연 게이트 바이폴라 트랜지스터를 켜거나 끈다.

절연형 바이어스 컨버터는 절연 장벽의 한 쪽에서 다른 쪽 장벽으로 바이어스 전원을 제공함으로써 절연 통신과 감지를 가능하게 한다. 전류 및 전압 센서, 디지털 절연체와 게이트 드라이버는 일반적으로 15W 미만, 낮게는 수십 밀리วัต 이하의 전력만을 필요로 한다. 그림 1은 이러한 애플리케이션 사례들을 보여주고 있다.

절연형 DC/DC 바이어스 전원 요구사항

외부 전력 스위치를 사용하는 컨트롤러에서부터 컨트롤러와 전력 스위치를 통합한 컨버터, 그리고 컨트롤러, 전력 스위치, 변압기를 하나의 패키지로 통합한 최종 전원 모듈에 이르기까지, 절연형 바이어스 전원을 제공할 수 있는

그림 1. 절연형 바이어스 애플리케이션

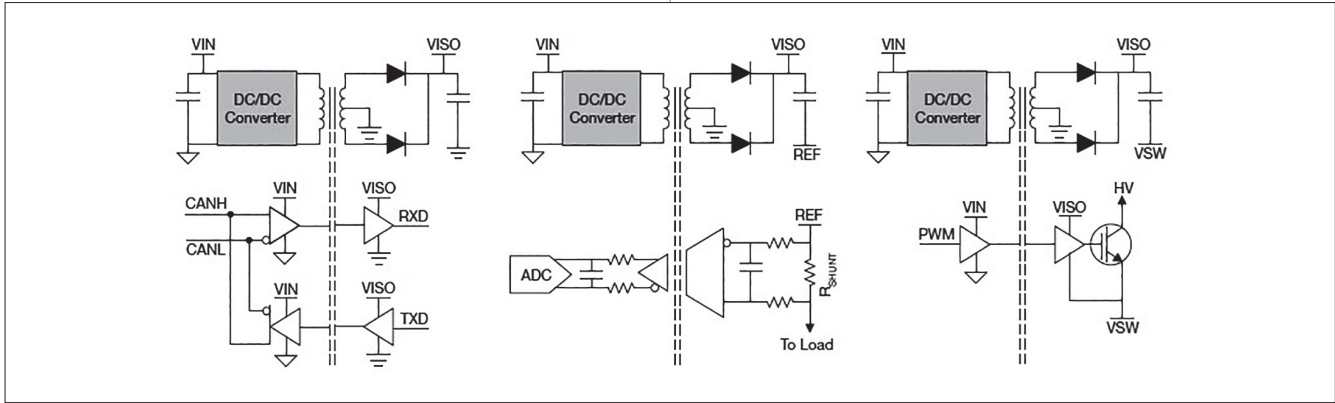


표 1. 각기 사례로 요구되는 절연형 바이어스 컨버터 사양

	Traction inverter SiC gate driver bias	Isolated current or voltage sensing	Isolated CAN communication	Industrial motor IGBT gate driver bias
Input Voltage	12V ± 10%	5V	5V	24V ± 10%
Output Voltages	+20V / -5V	5V	5V	+15V / -5V
Output Power	1.5W	100mW	350mW	1W
Regulation	± 5 %	± 10%	± 5%	± 10%
Insulation Rating	Basic	Reinforced	Reinforced	Reinforced
Ambient Temperature	Up to 105°C	-55°C to 125°C	-40°C to 125°C	-40°C to 85°C
EMI needs	CISPR25 Class 5	CISPR32 Class B	CISPR25 Class 5	CISPR32 Class B

다양한 솔루션이 있다. 이러한 다양한 바이어스 전원 솔루션과 다양한 애플리케이션을 통해 비용은 최소화하면서도 원하는 사양을 충족하기 위해서는 애플리케이션의 요구사항을 잘 이해하는 것이 중요하다.

설계자는 기본적으로 바이어스 전원 입력 전압 범위, 출력 전압, 출력 전력의 요구사항을 잘 이해하고 있어야 한다. 일부 애플리케이션은 하나 이상의 바이어스 전압을 필요로 할 수 있으므로 각각의 적합한 출력 레귤레이션을 정의하는 것이 중요하다. 절연 정격, 주변 작동 온도 범위, EMI, EMC와 같은 시스템 요건은 설계 결정에 영향을 미친다. 표 1은 무수히 다양한 절연 바이어스 컨버터 사양 중 네 가지만 예시로 보여주고 있다.

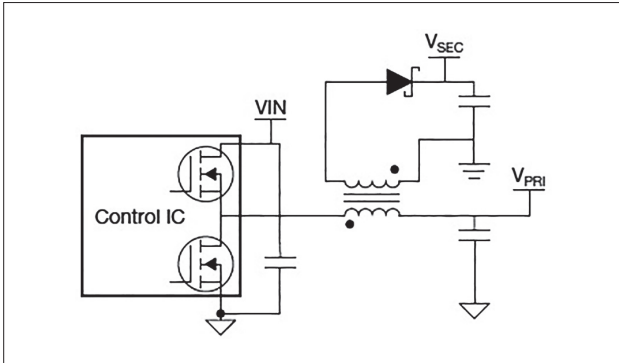
그러면 이번에는 대표적인 절연 바이어스 전원 토폴로지에 대해서 살펴보자.

플라이백

플라이백 컨버터는 지난 수십 년 동안 사용되어온 잘 알려진 토폴로지다. 이 전원 컨버터는 활용 범위가 넓고 비용이 적게 들기 때문에 다양한 애플리케이션에 사용할 수 있다. FET의 통합 및 PSR(Primary side regulation)기술의 발전과 함께 이 토폴로지의 인기는 더욱 높아졌다.

포워드, 푸시 풀, 하프브릿지(Half-Bridge) 같은 벽 파생 토폴로지와 비교해서, 플라이백 토폴로지는 일차 스위치 하나, 정류기 하나, 트랜스포머(변압기)와 유사한 결합된 인덕터 하나만 있으면 된다. 그림 2는 이 컨버터의 개략도를 보여준다. 일차 스위치가 켜지면, 일차 권선에 입력 전압이 유입되고, 트랜스포머의 에어 갭에 에너지가 저장된다. 이 상태에서는 출력 부하는 출력 커패시터에 의해서만 공급된다. 일차 스위치가 꺼지면, 트랜스포머에 저장되어 있던 에너지가 정류기를 통해서 이차 스위치 쪽으로 전

그림 2. 플라이백 컨버터



달되어 부하로 공급되고 출력 커패시터를 다시 충전한다.

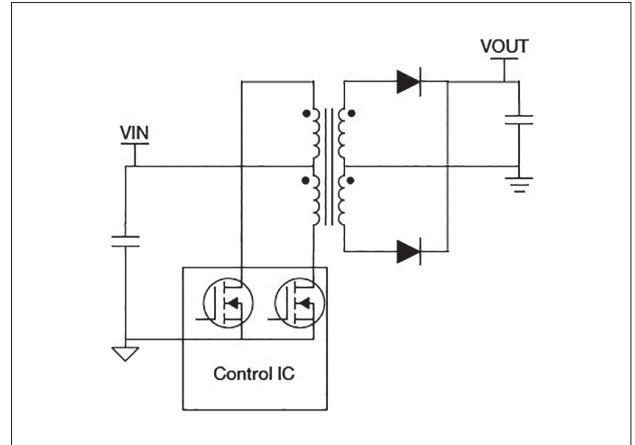
플라이백 컨버터가 바이어스 컨버터로 사용되기에 적합한 이유가 몇 가지 있다. 이 컨버터는 단일 변환 단계에서 통제와 절연 기능을 제공한다. 또한, 유연성이 뛰어나다는 점에서 다중 출력일 때도 유용하다. 출력 권선 수를 선택하고 선택한 조건에 맞게 변압기에 감을 수 있다. 출력 권선의 해당 전압은 충격계수와 일차-대-이차 권선의 권선비 기능을 한다. 또한 시스템 절연 요구 사항을 충족하기 위해서 각각의 출력에 각기 다른 접지를 레퍼런스 할 수도 있다. 비용이 비교적 저렴하고 입출력의 작동 범위가 넓은 것도 플라이백의 이점이다.

최상의 성능을 위해서는 플라이백 트랜스포머를 상황에 맞게 설계하는 것이 중요하다. 특히 다중 출력에서 최고 효율과 최적의 레귤레이션으로 조절하기 위해서는 트랜스포머가 누출이 낮은 인덕턴스와 매우 잘 결합되어야 한다. 하지만 또 과도한 EMI를 방지하기 위해서는 일차 측에서 이차 측으로 이동할 때 발생하는 기생 커패시턴스 (Parasitic capacitance)를 제한하는 것이 필요하다.

플라이-벅(Fly-Buck™) 컨버터

플라이-벅 컨버터는 텍사스 인스트루먼트 고유의 토폴로지로서, 이 컨버터를 사용해 절연형 바이어스 전원을 설계할 수 있다. 이 컨버터는 최대 100V의 입력 전압까지 작동할 수 있다. 플라이백 컨버터와 마찬가지로 통상적으로 MOSFET이 IC의 내부에 통합되어 있으며 아주 간단하게 일차 측을 제어할 수 있다. 그림 3은 플라이-벅 컨버터의

그림 3. 플라이-벅 컨버터



개략도를 보여준다. 이 토폴로지는 동기식 벅 컨버터와 결합된 인덕터를 사용해서 하나 혹은 다수의 절연 출력을 발생시킨다. 고압 스위치가 켜지면 일차 측이 벅 컨버터처럼 작동하고 이때, 이차 권선 전류는 0이 된다. 저압 스위치가 꺼진 상태일 때 이차 측은 일차 측에 저장되어 있는 에너지로 작동한다.

동기식 벅 컨버터가 널리 보급되면서 플라이-벅 컨버터는 매력적인 토폴로지가 되었다. 일차 출력 전압에서 피드백 루프가 닫힐 수 있기 때문에 컨버터를 제어하기 위한 추가적인 보조 권선 또는 옵토커플러를 필요로 하지 않는다. 결합형 인덕터의 구조는 유연성이 뛰어나다. 다양한 애플리케이션에 따라서 권선비, 절연 정격, 이차 권선 수, PWM 충격 계수를 조절할 수 있기 때문이다.

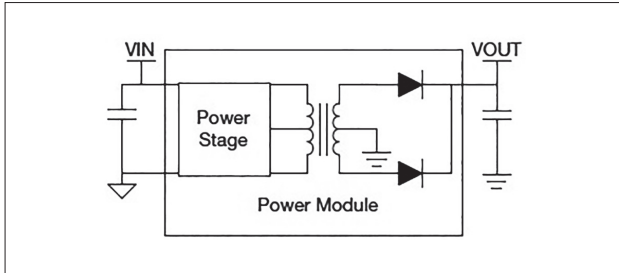
플라이백 컨버터와 마찬가지로 결합형 인덕터도 상황에 맞게 설계되어야 한다. 일차 측에서 이차 측으로 이동시에 발생하는 기생 커패시턴스를 제한하는 동시에 누설 인덕턴스를 관리하는 것이 중요하다.

100V 이상의 입력 전압이 필요한 애플리케이션의 경우, 외부 MOSFET이 장착된 플라이-벅 컨버터를 사용할 수 있다.

푸시 풀 트랜스포머 드라이버

푸시 풀 트랜스포머 드라이버는 저노이즈 소형 폼 팩터 절연 전원 공급 장치에 흔히 사용되는 솔루션이다. 이

그림 4. 푸시-풀 트랜스포머 드라이버



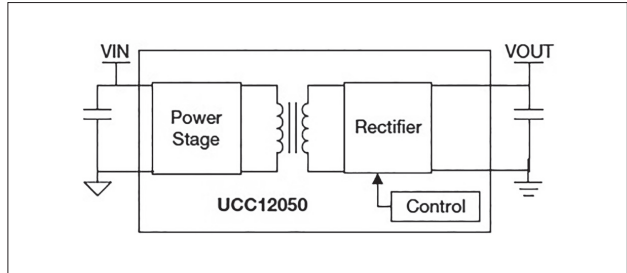
솔루션은 엄격하게 규제된 입력 레일로부터 전압이 공급되고 50%로 고정된 충격 계수의 개방 루프에서 작동한다. MOSFET을 IC 내부로 통합함으로써 작은 크기의 솔루션 구현이 가능하다.

그림 4는 푸시 풀 토폴로지를 보여주고 있다. 푸시 풀 토폴로지는 두 개의 MOSFET을 접지 레퍼런스한 포워드 토폴로지를 양쪽으로 사용할 수 있도록 변형한 것으로 외부 부트스트랩 회로가 따로 필요하지 않다. 회로의 한쪽이 접지가 되어있는 포워드 컨버터와 유사하게 FET에서의 전압 강도는 입력 전압의 2배이다. 두 개의 MOSFET은 반주기 마다 50%의 충격 계수에서 서로 전환하며 트랜스포머의 중앙에 연결된 권선을 작동하도록 한다.

푸시 풀 트랜스포머 드라이버는 가장 많이 사용되는 절연형 바이어스 전원 공급 솔루션인데, 여기에는 그럴 만한 이유들이 있다. 유연성이 우수하고, 다중 출력을 지원할 수 있기 때문이다. 개방 루프 배열은 피드백 루프가 필요 없어서 설계 과정을 간소화할 수 있다. 푸시 풀 컨버터는 낮은 일차-대-이차 커패시턴스를 제공하여 플라이백 및 플라이-백 컨버터에 비해 공통 모드 노이즈를 줄일 수 있다. 또한 푸시 풀 토폴로지는 트랜스포머 핵심 자화 전류를 더 효율적으로 사용하므로 플라이백이나 플라이-백 컨버터에 비해서 더 작은 크기의 자기 솔루션을 구현할 수 있다.

트랜스포머 드라이버가 여러 가지 장점을 갖고 있지만, 단점도 존재한다는 것을 명심해야 한다. 플라이백이나 플라이-백 컨버터와 달리, 트랜스포머 드라이버는 광범위한 입력 전압 범위를 지원하지는 못하며, 엄격하게 규제된 입력 전압을 필요로 한다. 페루프가 없기 때문에 피드백에 대한 출력 전압 규제 요건을 충족하는 것이 어려울 수 있으며 LDO가 필요할 수도 있다.

그림 5. 전원 모듈



전원 모듈

전원 모듈은 수십 년 전부터 존재해 왔으며 다양한 솔루션들이 존재한다. 이러한 솔루션은 광범위하게 사용 가능하며 디스크리트 솔루션에 비해 상당히 높은 수준의 통합을 제공한다. 전원 모듈은 입력 전압, 출력 전압, 출력 전력, 출력 수, 절연 등급, 레귤레이션 옵션에 따라 다양한 종류가 존재한다.

그림 5의 블록 다이어그램은 하나의 전원 모듈 내부의 작동 과정을 보여준다. 이 토폴로지는 디스크리트 버전과 흡사한 트랜스포머 드라이버를 포함한다. 어떤 디바이스는 레귤레이션을 위해서 출력 LDO를 통합할 수 있다.

전원 모듈은 다양한 옵션으로 제공될 수 있기 때문에 대부분의 절연형 바이어스 컨버터 애플리케이션에서 전원 모듈을 사용할 수 있다. 전원 모듈을 사용하면 트랜스포머를 지정, 설계 또는 선택할 필요가 없기 때문에 설계 과정을 크게 단순화할 수 있다. 설계를 시작하기 위해서는 입출력 디커플링 커패시터만 있으면 된다. 동기화, 출력 전압 선택, 활성화 및 오류 시그널링과 같은 기능들 또한 제공한다.

그런데 특정 출력 수와 변압기의 권수비를 구성하다 보면 모듈의 유연성이 다소 떨어질 수 있다. 125°C 주변 온도 범위의 모듈 제품 수가 55°C 또는 85°C 주변 온도 범위의 모듈 제품 수에 비해 적다. 뿐만 아니라, 최고 수준의 강화 절연 정격을 제공하는 모듈 제품의 수도 기능 절연이나 기본 절연을 제공하는 제품의 수에 비해서 적다.

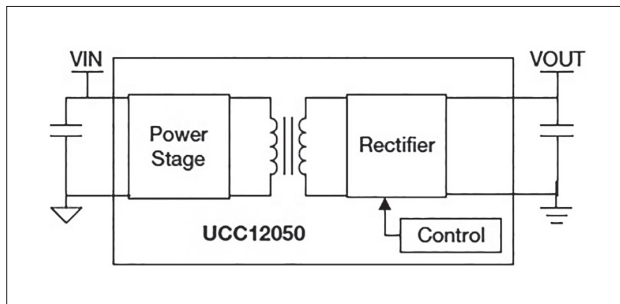
차세대 바이어스 솔루션

트랜스포머 설계와 고주파 토폴로지의 혁신은 IC 설계

표 2. 절연형 바이어스 전원 토폴로지 비교

	# of Outputs	Regulation	Output Power	Insulation Rating	Operating Temperature
Flyback Converter	Flexible – XFMR Dependent	PSR or Optocoupler Only One Winding Regulated	Up to 15W	Flexible – XFMR Dependent	Flexible – XFMR Dependent
Fly-Buck™ Converter	Flexible – XFMR Dependent	PSR or Optocoupler	5 to 10W	Flexible – XFMR Dependent	Flexible – XFMR Dependent
Transformer Driver	Flexible – XFMR Dependent	Unregulated	1 to 5W	Flexible – XFMR Dependent	Flexible – XFMR Dependent
Power Modules	1 to 2 Outputs	Regulated or Unregulated	1 to 3W	Mostly Basic or Functional	Typically 85°C
UCC12050	1 Output	Regulated	0.5W	Reinforced	125°C

그림 6. UCC12050을 사용한 절연형 DC/DC 바이어스 전원



자들이 트랜스포머와 실리콘을 단일 IC로 통합할 수 있도록 했다. 이를 통해 최종 사용자는 트랜스포머를 따로 설계하거나 시스템의 성능을 저하시키지 않고도 작은 크기의 경량 절연형 DC/DC 바이어스 전원 공급 장치를 구현할 수 있게 되었다.

그림 6은 텍사스 인스트루먼트의 UCC12050의 블록 다이어그램을 보여주고 있다. 보기에는 전력단과 정류기를 통합한 전원 모듈과 비슷해 보이지만, UCC12050의 작동 방식을 좀 더 자세히 들여다보면 스위치 주파수가 전원 모듈보다 훨씬 높다는 것을 알 수 있다. UCC12050은 스위치 주파수가 더 낮은 다른 전원 모듈 제품들에 비해 높기와 무게를 크게 줄일 수 있다. 내부 토폴로지 제어 체계는 LDO 또는 외부 피드백 구성 요소 없이 페루프를 작동시킨다.

UCC12050은 광범위한 절연형 DC/DC 바이어스 공급 애플리케이션에 많은 이점을 제공한다. EMI최적화 트랜스포머는 3.5pF에 불과한 일차-대-이차 커패시턴스를 제공하고 노이즈가 적은 제어 방식을 채택했다. 이 솔

루션은 페라이트 비드나 LDO를 사용하지 않고도 그 자체로 이중 PCB(two layer PCB)에 대한 CISPR32 Class B 표준을 충족할 수 있다. 이 견고한 디바이스는 5kVrms 그리고 1.2kVrms 작동 전압 범위의 강화 절연에 적합하며 125°C의 주변 온도에서 작동한다. 동일한 제품군으로 UCC12040 제품이 있다. 이 디바이스는 3kVrms 그리고 800kVrms 작업 전압 범위의 기본 절연에 적합하다.

UCC12050은 500mW의 5V 입력 전압을 3.3V~5.4V 출력 전압으로 변환해야 하는 애플리케이션에 사용하기에 적합하다. 이보다 더 높은 입력이나 출력 전압을 필요로 하는 애플리케이션은 선변환 또는 후변환이 필요할 수도 있다. UCC12050의 경감 곡선보다 높은 전력을 필요로 하는 디자인은 다른 대안의 토폴로지들을 고려해 보아야 할 것이다.

표 2는 위에서 설명한 토폴로지들을 비교하고 있다. 외부 트랜스포머를 사용하는 토폴로지들은 유연성이 좋고, 전원 모듈과 UCC12050은 사용 시 편의성이 뛰어나다는 것을 알 수 있다.

맺음말

절연 장벽을 통해 전력을 제공하기 위해서는 다양한 옵션들을 사용할 수 있다. 이런 옵션들 중 선택을 하기 위해서는 출력 수, 레귤레이션 조건, 출력 전력, 절연 정격, 작동 온도, 입력 전압 범위 같은 사양들을 잘 이해하는 것이 중요하다. 그러면 모든 시스템의 원하는 조건을 충족하면서 비용을 최소화할 수 있는 솔루션을 선택할 수 있다. 