

HEV/EV용 난방 및 냉방 시스템 설계 방법

이 백서에서는 48V, 400V 또는 800V HEV 및 EV의 새로운 난방과 냉방 제어 모듈을 설명한다. 예시 및 시스템 블록 다이어그램 등을 통해 이 모듈의 고유한 서브 시스템을 알아보고, HEV 및 EV 구현에 도움이 될 수 있는 서브 시스템의 기능 솔루션을 살펴보고 하겠다.

글/Arun T. Vemuri, 이사, 텍사스 인스트루먼트
Kevin Stauder, 시스템 엔지니어, 텍사스 인스트루먼트

수십년 동안 내연기관(ICE)을 통해 자동차는 주행을 비롯해 난방과 냉각 시스템이 작동되어 왔다. 자동차 산업이 전기화되고 소형 연소 엔진이 달린 하이브리드 전기 자동차(HEV) 또는 엔진이 전혀 없는 완전 전기 자동차(EV)로의 전환이 지속되는 가운데 난방, 환기 및 공조(HVAC) 시스템은 어떻게 작동할까?

이 백서에서는 48V, 400V 또는 800V HEV 및 EV의 새로운 난방과 냉방 제어 모듈을 설명한다. 예시 및 시스템 블록 다이어그램 등을 통해 이 모듈의 고유한 서브 시스템

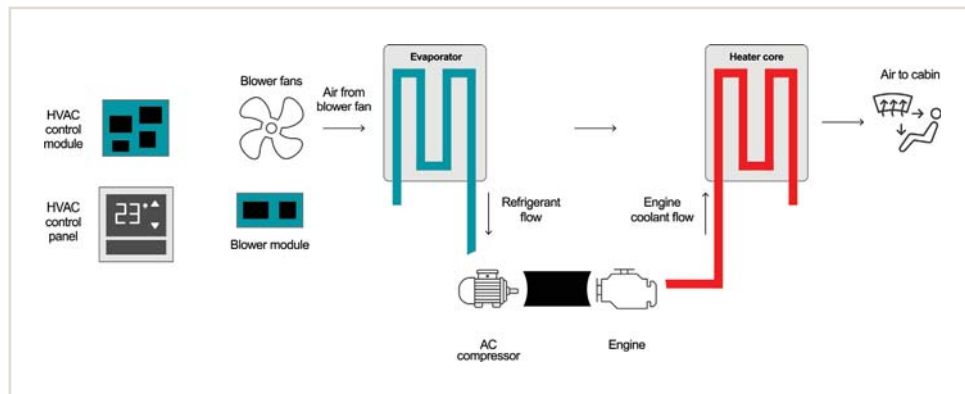
을 알아보고, HEV 및 EV 구현에 도움이 될 수 있는 서브 시스템의 기능 솔루션을 살펴보고 하겠다.

HVAC 시스템에서 연소 기관의 작동법

ICE 탑재 차량에서 엔진은 난방 및 냉방 시스템의 근간이다. **그림 1**은 이러한 개념을 보여준다. 냉각의 경우 송풍기에서 나온 공기가 증발기로 들어가고, 이곳에서 냉매가 공기를 냉각시킨다. 엔진에 의해 구동되는 에어컨(AC) 컴프레서가 냉매를 압축하여 증발기에서 내보낸다.

비슷하게 난방의 경우 엔진에 의해 생성된 열이 냉각수로 전달된다. 이 따뜻한 냉각수가 히터 코어로 들어오면 공기가 가열된 다음 실내로 들어온다. 이렇게 엔진은 차량 실내의 난방과 냉방에 중요한 역할을 한다.

그림 1. 엔진은 ICE 차량의 난방과 냉방 시스템에서 근간 역할을 한다.



HEV와 EV에서의 난방 및 냉방 방식

HEV/EV의 경우 연소 엔진의 크기 또는 부재로 인해 그림 2와 같이 HVAC 시스템에서 중요한 역할을 하는 두 가지의 추가 부품을 도입해야 한다.

- ① 브러시리스 DC(BLDC) 모터는 엔진 대신 AC 컴프레서를 회전시키는 DC 모터이다.
- ② PTC 히터 또는 열 펌프는 엔진 대신 냉각수를 가열한다.

이 부품을 제외한 나머지는 ICE 탑재 차량의 난방 및 냉방 시스템과 동일하다. 언급한 것처럼 BLDC 모터와 PTC 히터 또는 열 펌프는 엔진이 없는 경우에 필요하지만 소비 전력, 모터 및 저항 히터의 제어, 전체적인 HVAC 제어와 관련하여 다른 문제를 야기할 수 있다.

BLDC 모터와 PTC 히터를 제어하는 전자 장치

고압 HEV/EV에서 BLDC 모터와 PTC 히터는 모두 고전압 전력을 사용한다. AC 컴프레서에는 10kW의 전력이 필요할 수 있는 반면 PTC 히터는 5kW의 전력을 소비할 수 있다. 그림 3과 4는 각각 AC 컴프레서 BLDC 제어 모듈과 PTC 히터 제어 모듈의 블록 다이어그램이다. 두 블록 다이어그램 모두 AC 컴프레서 BLDC 모터와 PTC 히터가 고전압 배터리로 구동됨을 보여준다. 추가로 이러한 모듈은 절연 게이트 양극성 트랜지스

그림 2. HEV/EV의 난방 및 냉방 시스템

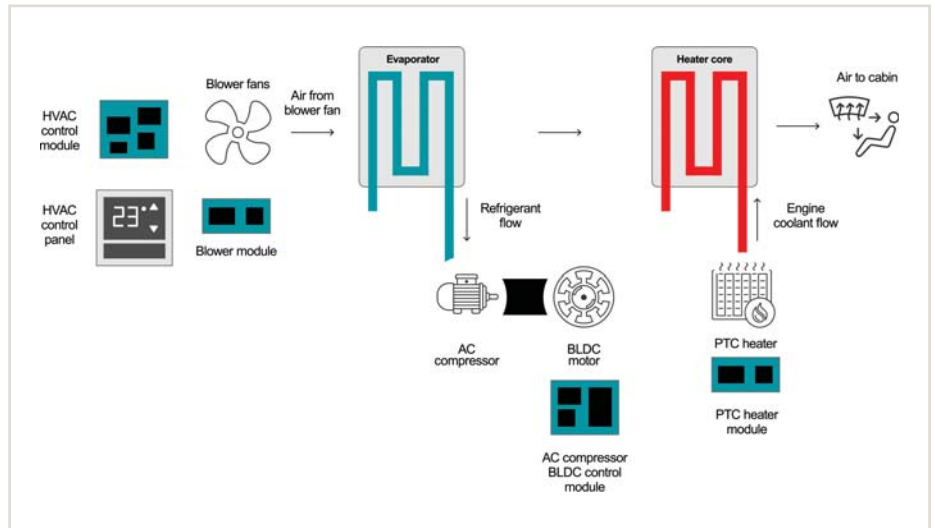
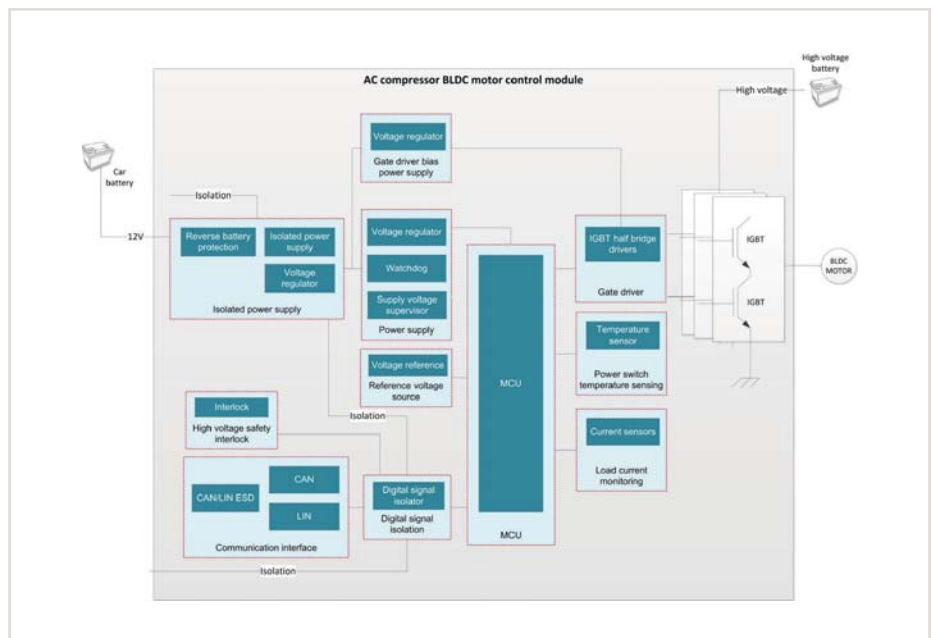


그림 3. 고전압 AC 컴프레서 BLDC 모터 제어 모듈의 블록 다이어그램



터(IGBT)와 해당 게이트 드라이버를 사용하여 BLDC 모터와 PTC 히터로의 전력을 제어한다.

그림 3과 4는 두 제어 모듈에서 나머지 서브 시스템 사이의 유사성을 보여준다. 두 시스템 모두 전원 공급 서브 시스템, 게이트 드라이버 바이어스 전원 공급 장치, 마이크로컨트롤러(MCU), 통신 인터페이스, 온도 및 전류 모니터

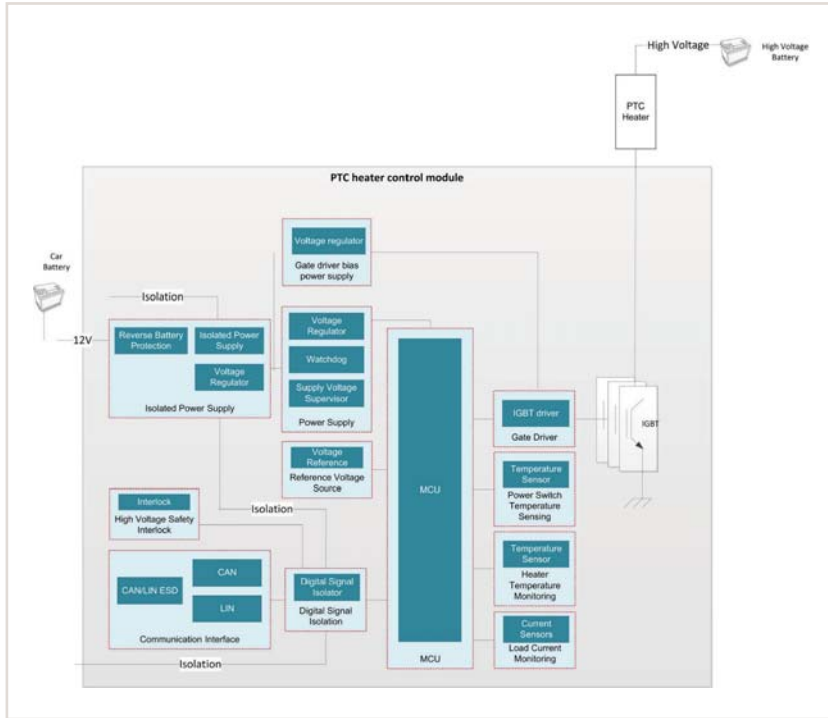
링을 포함한다.

통신용 트랜시버 및 전류 측정용 증폭기와 같이 이러한 제어 모듈에서 사용되는 많은 서브 시스템은 다른 난방 및 냉방 제어 모듈에서 사용되는 서브 시스템과 유사하다. 하지만 전원 공급 서브 시스템과 게이트 드라이버 서브 시스템은 난방 및 냉방 시스템을 작동하는데 있어서 고유한 제어 모듈을 가지고 있다. 이러한 서브 시스템 인터페이스는 저전압 도메인은 물론 고전압 도메인이 있다.

회로 토폴로지의 선택을 통해 효율성, 전력 밀도 및 전자파 간섭(EMI)과 같은 시스템 설계 요구 사항은 물론 서브 시스템 기능을 달성해야 한다.

회로 토폴로지의 선택을 통해 효율성, 전력 밀도 및 전자파 간섭(EMI)과 같은 시스템 설계 요구 사항은 물론 서브 시스템 기능을 달성해야 한다.

그림 4. 고전압 PTC 히터 제어 모듈의 블록 다이어그램



열 펌프

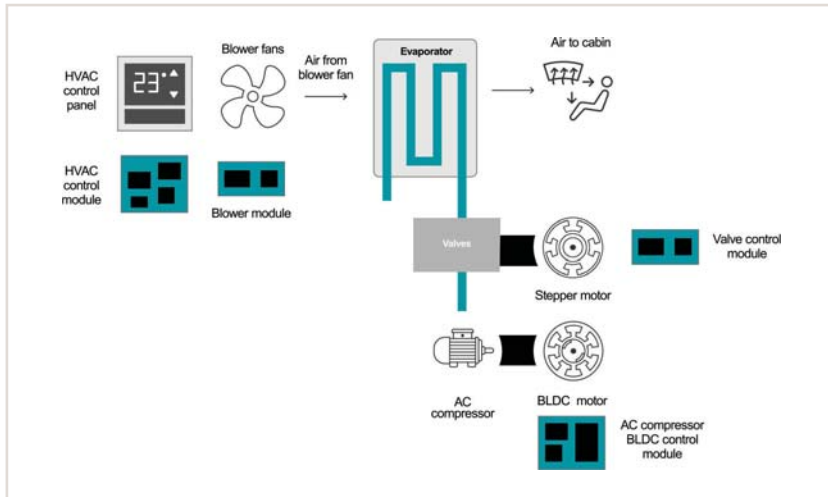
고전력 PTC 히터를 사용하여 실내를 가열하는 것의 대안으로 그림 5와 같이 냉각 회로를 열 펌프로 사용하는 것이 있다. 이 모드에서 역방향 밸브가 냉매의 흐름을 역방향으로 바꾼다. 추가로 시스템에 냉매의 흐름을 조절하는 다른 밸브가 있을 수 있다. 열 펌프의 밸브는 예를 들어 스텝퍼 모터를 사용하여 제어된다.

열 펌프 기반 난방 및 냉방 시스템에서 다음 밸브가 사용된다.

- 확장 밸브는 냉매 흐름을 제어한다. 콘덴싱 장치의 고압 액체 냉매를 증발기의 저압 가스 냉매로 변환하는 데 도움이 된다. 전자 확장 밸브는 주로 부하 변동에 대해 더욱 빠르고 정확한 대응이 가능하고 특히 스텝퍼 모터를 사용하여 확장 밸브를 제어할 때 냉매 흐름을 더욱 정밀하게 제어할 수 있다.
- 차단 및 역방향 밸브는 냉매의 방향 또는 경로를 변경하여 난방과 냉방 모드 모두에서 일부 요소의 역방향 사이클과 우회가 가능하게 한다. 솔레노이드 드라이버 또는 브러시드 DC 모터가 차단 및 역방향 밸브를 제어할 수 있다.

그림 5에서 열 펌프가 계속해서 이

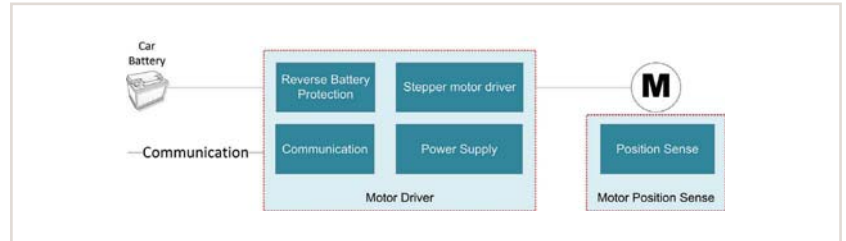
그림 5. 열 펌프 시스템



전 섹션에서 설명한 AC 컴프레서 모듈을 사용한다는 것을 추측할 수 있다. 추가로 열 펌프 시스템은 모터 드라이버 모듈을 사용하여 밸브를 구동한다. 이로 인해 냉매 흐름용 밸브 구동이라는 설계 상의 문제가 발생한다.

그림 6은 밸브 구동에 사용되는 모터 드라이버 모듈의 일반적인 블록 다이어그램을 보여준다. 이 다이어그램은 스테퍼 모터 드라이버를 보여준다. 모터가 브러시 DC 모터인 경우 브러시 DC 모터 드라이버가 이 블록 다이어그램에서 스테퍼 모터 드라이버를 대신한다. 모터 드라이버 모듈의 설계 요구 사항에는 전력 밀도와 EMI가 포함된다.

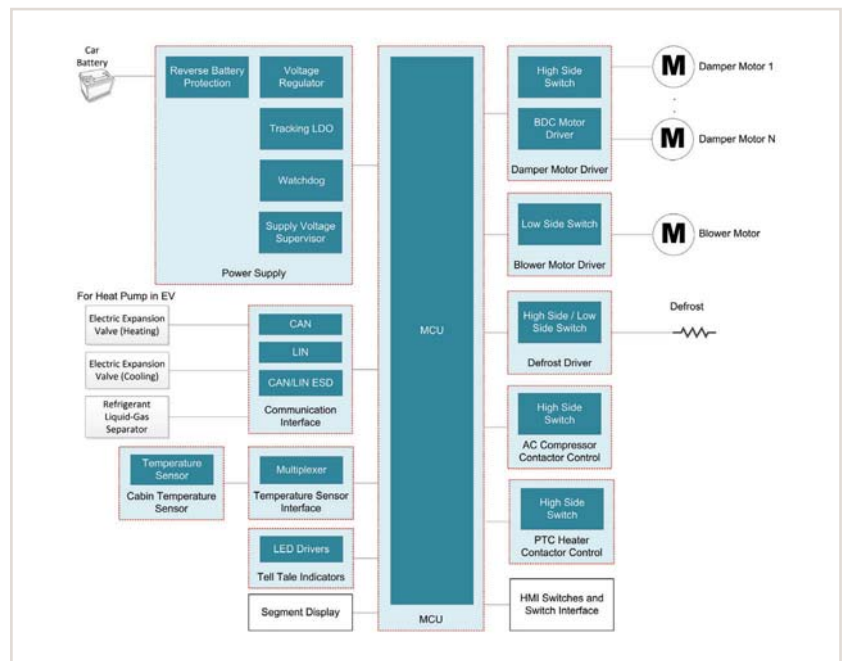
그림 6. 스테퍼 모터 드라이버의 블록 다이어그램



HVAC 제어 모듈

그림 7은 HVAC 제어 모듈에 대한 일반적 블록 다이어그램이다. HVAC 제어 모듈은 고전압 배터리와 BLDC 모터 및 PTC 히터의 연결 및 연결 해제에 사용되는 고전압 접촉기를 제어한다. 블록 다이어그램은 또한 댐퍼 모터 제어, 제상 히터, 통신 인터페이스와 전원 공급 서브 시스템을 보여준다.

그림 7. HVAC 제어 모듈



모듈에서 이러한 서브시스템의 회로 위상에 대한 일반적인 기능 블록 다이어그램을 살펴볼 예정이다.

고유한 HVAC 서브 시스템용 일반적 기능 블록 다이어그램

이전에 설명한 것과 같이 HEV/EV의 새로운 난방 및 냉각 시스템내 추가 제어 모듈에는 이러한 제어 모듈에 고유한 서브 시스템이 포함된다. 전원 공급 장치, 게이트 드라이버와 스테퍼 모터 밸브 드라이버가 냉매 흐름 제어에 사용된다.

이 섹션에서는 고전압 AC 컴프레서와 PTC 히터 컨트롤

전원 공급 장치

BLDC 모터 또는 PTC 히터와 같이 HEV/EV의 경우 전력 소비가 많은 난방 및 냉방 서브 시스템이 있다. 하지만 모듈의 나머지 서브 시스템, MCU, 게이트 드라이버, 온도 센서와 나머지 회로 등은 일반적으로 전력이 낮다.

일반적인 접근 방식은 가용한 고전압(800V, 400V 또는 48V)으로부터 전력 소비가 많은 부하에 직접 전력을 공급하고 12V 레일로 보드의 회로 전력을 공급하는 방식이며,

그림 8. 12V 레일의 제어 모듈 회로에 전력 공급

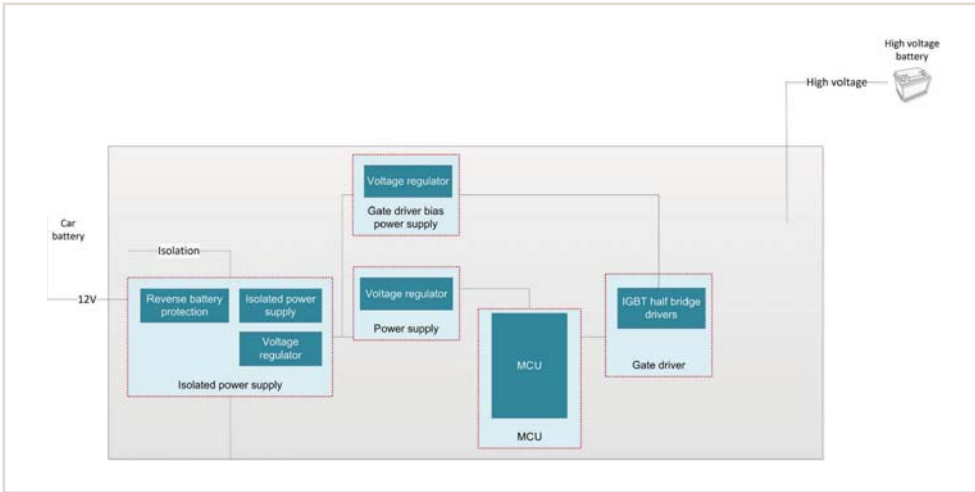
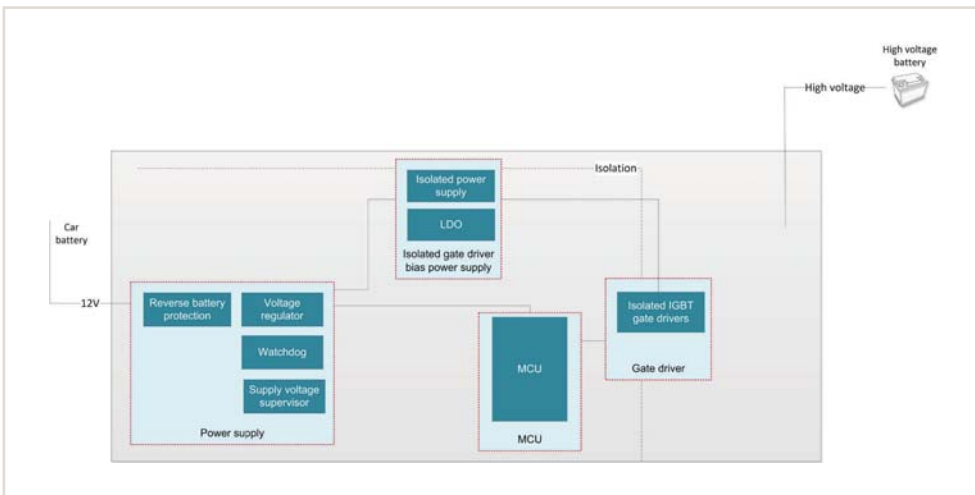


그림 9. 12V 레일의 제어 모듈 회로에 전력 공급



절연(감전에 대한 보호를 반드시 제공하지 않고도 시스템이 적절하게 작동하도록 허용하는 절연)은 12V와 48V 도메인 사이에서 가장 많이 사용될 것이다. 시스템의 입력 또는 출력에 절연 장벽을 배치하는 것이 가능하다.

그림 8은 대부분의 시스템 부품이 고전압 측에 배치되는 시스템의 입력에 위치한 절연 장벽을 보여준다. 이 경우 12V 전력 및 통신 인터페이스에는 절연 부품이 필요하다. 반대로 시스템의 출력에 절연 장벽을 배치하는 경우 회로 부품의 대부분이 저전압 측에 위치해야 한다. 이 경우 모듈에서 그림 9와 같이 절연 게이트 드라이버를 사용하여 트랜지스터를 구동한다.

이는 그림 8에 나와 있다.

48V 시스템에서 스타터/발전기 또는 트랙션 인버터 등과 같은 중요 시스템에는 12V와 48V 레일로부터의 공급 사이에 O-링이 필요한 경우가 많다. 난방 및 냉방 서비스 시스템은 주로 이 O-링을 필요로 하지 않는다.

그림 8은 또한 절연 장벽을 보여준다. 800V 및 400V와 같은 고전압 시스템에서 12V 측과 고전압 측 사이의 절연은 항상 필요하다. 하지만 48V 차량에서는 다를 수 있는데, 낮은 전압 때문에 차량의 12V와 48V 시스템 사이에는 전기 절연이 필요하지 않을 수 있기 때문이다. 실제로 기능

HVAC 컴프레서에 대한 차량용 고전압, 고전력 모터 드라이버

레퍼런스 설계에서는 게이트 드라이버에 16V를 제공하고 MCU, 연산 증폭기 및 기타 모든 논리 부품에 3.3V(저손실 레귤레이터 이후 5.5V)를 제공하는 LM5160-Q1 절연 플라이 백-부스트 컨버터를 사용한 예시를 보여준다. 이 접근 방식은 상대적으로 간단하고, 소형(단일 컨버터 및 변압기를 사용하여 두 전압 생성)이며, 좋은 성능을 제공한다.

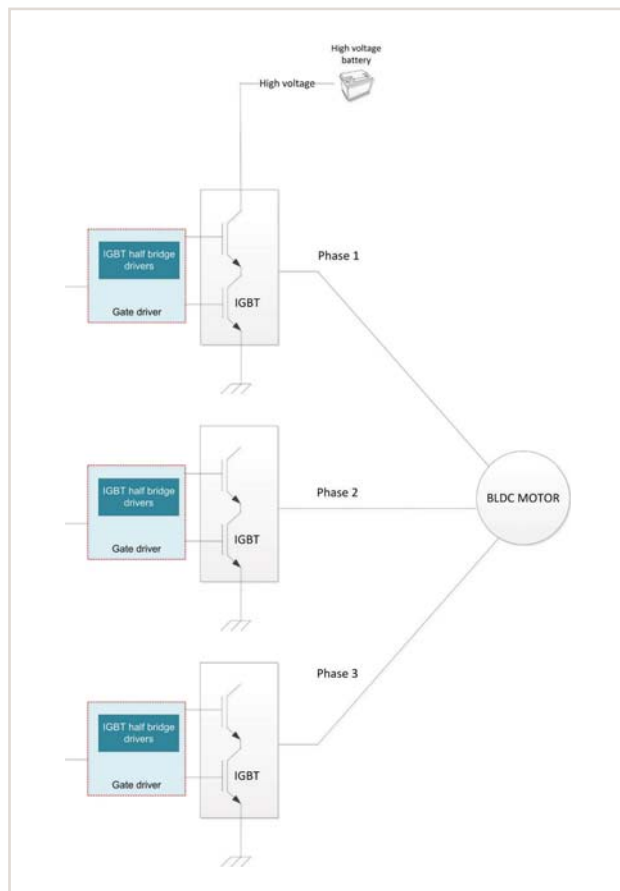
게이트 드라이버

3상 브리지 드라이버 집적 회로(IC)를 사용하여 인버터 스테이지의 트랜지스터를 구동할 수 있다. 구동 강도가 낮기 때문에(<500mA) 3상 브리지 드라이버 솔루션에는 일반적으로 전류 부스터 역할을 할 추가 버퍼가 필요하다. 이로 인해 추가 부품이 필요하게 되어 비용 증가로 이어지고, 인쇄 회로 보드(PCB) 크기가 증가하며, 이상적이지 않은 PCB 레이아웃의 기생으로 인해 전체 시스템의 EMI 위험 및 전파 지연 증가 관련 성능 저하가 발생한다.

트랜지스터의 스위칭 손실을 최소화하고 시스템 효율성 증가를 위해 EMI를 줄일 수 있도록 **그림 10**과 같이 UCC27712-Q1 등 하프 브리지 게이트 드라이버를 사용하여 인버터 스테이지의 각 단계를 구동하는 것을 고려해 보자.

게이트 드라이버 측면에서 EMI는 게이트에서의 오버슈

그림 10. 하프 브리지 게이트 드라이버 3개로 인버터 스테이지 구동



트와 관련이 있는 경우가 많다. 그림 10과 같은 하프 브리지 게이트 드라이버 접근 방식은 추가 부품 제거가 용이하고 PCB 레이아웃의 복잡성이 감소하는데, 스위치 노드를 최소 영역으로 제한하면서 트랜지스터와 매우 가깝게 드라이버를 배치할 수 있기 때문이다. 이를 통해 EMI 문제가 감소해야 한다. 추가로 하프 브리지 게이트 드라이버는 게이트 드라이브 전류 증폭을 위한 외부 부스트 스테이지를 필요로 하지 않는데, IC에서 대량의 소스와 싱크 전류에 달성할 수 있기 때문이다. 하프 브리지 드라이버는 일반적으로 인터록과 데드 타임 기능을 구현하여 동시 켜짐으로부터 출력을 방지함으로써 숏스루로부터 하프 브리지를 보호하고, 효율적인 트랜지스터 구동에 충분한 여유를 제공한다.

스테퍼 모터 드라이버

스테퍼 모터 드라이버가 열 펌프 시스템의 밸브를 구동하는 경우 스텝 모터 드라이버에 필요한 중요 기능은 실속 검출이다. 이 기능은 모터가 마이크로 스텝핑 중일 때 기계 블록과 충돌함으로 인해 모터가 이동을 멈춘 경우 드라이버 전자 장치가 이를 감지하는 기능이다. 마이크로 스텝핑을 통해 밸브의 매우 정밀한 위치 제어가 가능하다.

모터 코일은 펄스 폭 변조(PWM) 신호를 통해 구동되므로 EMI가 문제가 발생할 수 있다. 스텝 모터 드라이버에는 부하 토크를 구동하는 기능이 있어야 한다. DRV8889-Q1과 같은 장치에 모터 전류 감지와 고급 회로가 통합되어 마이크로 스텝핑 도중 스톱을 감지할 수 있다. DRV8889-Q1에는 프로그래밍 가능한 회전율 제어와 확산 스펙트럼 기술이 포함되어 EMI 완화에 도움이 된다.

요약

HEV/EV의 더욱 높은 전압으로 인해 새로운 HVAC 제어 모듈이 도입되면서 전력 절연, EMI 및 마이크로 스텝핑 도중 스톱이라는 새로운 문제가 발생한다. 절연 플라이 백-부스트 컨버터, 게이트 드라이버 및 스텝 모터 드라이버와 같은 제품이 포함된 일반적인 회로 토폴로지를 활용하여 ICE에서 HEV/EV HVAC 시스템으로 수월하게 전환할 수 있다. **SN**