



TECHNICAL REPORT

SECTION 03

배터리 전기차용 150kW 고속 DC 충전기 만들기

EDITOR

오마 하몬(Omar Harmon)
프란체스코 디 도메니코(Francesco Di Domenico)
슈리밧사 라구나트(Srivatsa Raghunath)

자료원

인피니언 테크놀로지스
www.infineon.com

오늘날 우리는 도시의 거리나 주차장에서 전기차의 시대가 태동하고 있음을 감지할 수 있다. 배터리 전기차(BEV, Battery Electric Vehicle)의 인기가 점점 높아지고 있으며, 이를 충전하기 위한 인프라가 구축되고 있다. 아직은 대부분의 BEV가 주행 거리 측면에서, 내연기관(ICE, Internal Combustion Engine)을 따라잡지 못하고 있다. 그러나 BEV의 충전 시간이 통상 주유 수준으로 단축되면, 주행 거리에 대한 불안감은 더 이상 문제가 되지 않을 것이다. 집에서 대부분 가정용 AC 전원이나 벽에 설치된 충전기를 통해 BEV를 충전할 수 있다. 최대 22kW 정격의 솔루션으로 200km를 달릴 수 있도록 충전하기 위해서는 120분 동안 충전해야 한다. 이는 밤새 충전하는 용도로는 적합하지만, 이의 1/8인 15분 동안 급속 충전하기 위해서는 150kW 정격의 DC 충전기가 필요하다. 이런 수준의 전력은 전기 인프라가 충분히 갖춰진 지정 장소에서만 공급할 수 있다. 예를 들어 주유소나 택시 승차장을 후보지로 들 수 있다.

모듈러 접근법

전 세계 많은 국가들이 충전기 표준을 정립하고 있으며 유럽의 CharIN, 일본의 CHAdeMO, 중국의 GB/T를 예로 들 수 있다. 이런 표준은 커넥터, 케이블, 충전 전압·전류 등 모든 것을 정의하고 있다. 여기에 전기적 안전성(IEC 60950), 광 절연(UL1577), 자기·용량성 결합(VDE V 0844-11)과 관련된 표준들을 추가적으로 적용할 수 있다.

폼팩터, 환경, 외관, 가격과 같은 요인들은 디자인에 많은 영향을 준다. 더불어 50kW부터 150kW 대에 이르는 DC 충전기를 구현하기 위해서는 모듈러 접근법을 이용해야 한다. 이를 통해 데이터 버스 모듈과 중앙 제어 시스템을 연결해 빌링을 처리할 수 있고, 외부의 데이터 네트워크를 통해 인증된 충전기 교체 모듈의 정품 여부를 확인할 수 있다.

오늘날 일반적으로 사용되는 50kW 충전기는 약 16.5kW인 하드웨어 서브유닛 3개로 구성된다. 서브유닛은 다시

[그림 1] 15~40kW 대 서브유닛 충전 토폴로지



5.5kW 디자인 블록 3개로 구현되며, 이런 모듈러 방식을 통해 제조업은 규모의 경제를 이룰 수 있다. 서브유닛과 디자인 블록을 조합해 고객의 새로운 요구를 유연하게 만족할 수 있기 때문이다. 또한, 결함이 생겼을 때 유지보수와 수리가 간편하다. 충전 시간을 단축하기 위해 전력대가 높아지고 있으며, 이에 따라 각 서브유닛과 디자인 블록으로 공급되는 전력도 함께 높아지고 있다.

다중레벨 다중위상 토폴로지는 서브유닛 자체가 효율적이기 때문에, 발생하는 열을 전체 체적에 걸쳐 분산시킬 수 있다. 변화하는 시장의 요구에 맞춰 충전기의 출력 전력 수준을 빠르게 구현할 수 있기에, 모듈러 접근법은 규모의 경제를 달성할 수 있는 것이다.

30kW 서브유닛 토폴로지

전력대가 15~40kW에 이르는 서브유닛은 디스크리트 부품을 사용한 설계가 권장된다[그림 1]. 목표는 200~920V_{DC} 출력 전압 범위로 93~95%의 효율을 달성하는 것이다(CharIN). 통상적으로 3위상 380V_{AC}인 입력 전원을 3위상 비엔나 정류기를 사용해 정류한다. 그 다음 절연형 DC/DC 단일 풀브리지 공진 LLC 컨버터(1200V)나 적층형 풀브리지 LLC(600~650V)를 사용해 가변 DC 출력을 제공한다. 이 디자인은 공기 냉각을 염두에 두고 설계해야 한다.

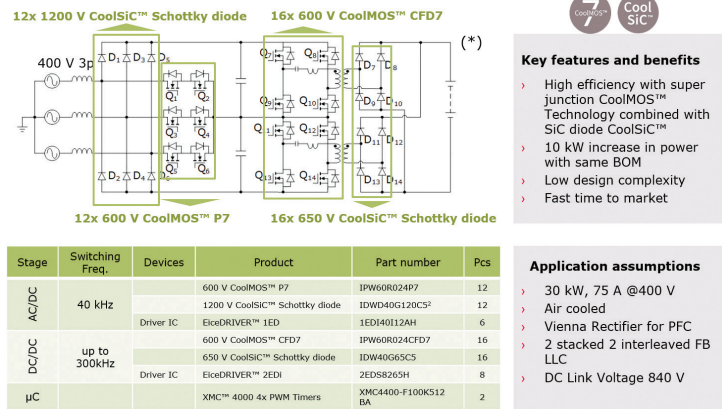
DC 충전기를 전력망으로 에너지를 돌려보내도록 설계해야 하는 경우가 아니라면, 비엔나 정류기는 PFC(Power Factor Correction) 스테이지로 적합한 선택이다. 이 3위상 3레벨 PWM(Pulse Width Modulation) 정류기는 3개의 동적 스위치만을 필요로 한다. 이는 출력 전압을 조절할 수 있으며 메인 불평형이 발생되거나 하나의 위상이 소실되더라도 계속 작동한다. 제어 회로로 문제가 발생되더라도 출력이나 프론트 엔드로 단락 회로가 발생

되지 않는다는 점에서 견고성이 우수하다. 입력 전류는 사인파이고, 다양한 구현을 통해 최대 0.997에 이르는 역률, 5% 미만의 THD, 97% 이상의 효율을 달성하는 것으로 나타난다.

실리콘(Si)과 실리콘 카바이드(SiC) 기술을 조합해 토폴로지를 효율적으로 구현할 수 있다. CoolSiC 1200V 5세대 쇼트키 다이오드와 같은 디바이스는 온도에 종속적이지 않은 스위칭 동작, 높은 dv/dt 견고성, 1.25V에 불과한 낮은 순방향 전압이 특징이다. 전반적인 시스템 냉각에 대한 요구를 낮추고 시스템 신뢰성을 높일 뿐만 아니라 매우 빠른 스위칭을 지원한다. 효율적이면서도 합리적인 비용의 솔루션을 구현하기 위해서는, 이 다이오드에 $V_{CE_{sat}}$ 과 스위칭 손실이 낮은 650V TRENCHSTOP 5 IGBT를 사용할 수 있다. 효율을 더 높이기 위해서 백-투-백 스위칭 스테이지로 CoolMOS P7 시리즈를 사용할 수 있는데, 이 시리즈의 제품은 E_{oss} 를 낮추고, 게이트 전하(Q_g)를 향상시키고, $R_{DS(on)}$ 이 최저 24mΩ으로 낮아 스위칭 손실을 크게 절감할 수 있다[그림 2].

2개 적층형 공진 풀브리지 LLC 컨버터로는 고속 바디 다이오드를 채택한 CoolMOS CFD7 디바이스를 사용해, 스타트업과 출력으로 단락 회로, 버스트 모드와 같은 중요한 동작 순간에 보호를 유지할 수 있다. 디바이스의 E_{oss} , Q_g , 역 복귀 전하(Q_r)가 낮아 다른 특성들에 영향을 주지 않기 때문이다. 이 제품군으로 다양한 $R_{DS(on)}$ 을 제공하므로 원하는 전력대의 가장 적합한 디바이스를 선택할 수 있다. 이차 정류 스테이지에는 650V CoolSiC 쇼트키 다이오드를 사용한다.

[그림 2] 30kW 서브유닛을 위한 제안 디자인



¹) Simplified schematic diagram. Symbols for the schematic diagram are only for illustration purposes and does not refer to the proposed bill of material. ²) coming soon

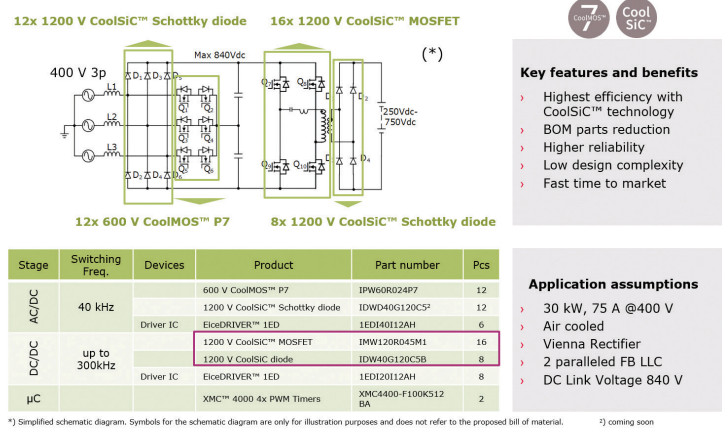
Key features and benefits

- High efficiency with super junction CoolMOS™ Technology combined with SiC diode CoolSiC™
- 10 kW increase in power with same BOM
- Low design complexity
- Fast time to market

Application assumptions

- 30 kW, 75 A @400 V
- Air cooled
- Vienna Rectifier for PFC
- 2 stacked 2 interleaved FB LLC
- DC Link Voltage 840 V

[그림 3] 공진 풀브리지 LLC 스테이지를 전부 SiC 부품으로 구현해 효율을 높이는 디자인



¹) Simplified schematic diagram. Symbols for the schematic diagram are only for illustration purposes and does not refer to the proposed bill of material. ²) coming soon

Key features and benefits

- Highest efficiency with CoolSiC™ technology
- BOM parts reduction
- Higher reliability
- Low design complexity
- Fast time to market

Application assumptions

- 30 kW, 75 A @400 V
- Air cooled
- Vienna Rectifier
- 2 paralleled FB LLC
- DC Link Voltage 840 V

30kW 서브유닛으로 효율 높이기

동일한 토폴로지로 SiC 디바이스의 비중을 늘려서 효율을 높일 수도 있다. 부품 수를 줄여 열 발생량을 줄이고 신뢰성을 높이는 것이다. 고전압 DC/DC 적층형 접근법을 병렬 풀브리지 LLC 컨버터로 교체하고, 일차 측으로 높은 DC 링크 전압을 수용하기 위해 스위치를 1200V CoolSiC MOSFET으로 교체한다. 그리고 높은 이차 측 전압을 처리하기 위해 다이오드를 1200V CoolSiC 디바이스로 업그레이드한다. 부품 수를 줄이는 것에 이어 각 디바이스로의 $R_{DS(on)}$ 이 낮아 전도 손실을 낮출 수 있다. 이 서브유닛 디자인은 신뢰성을 높여 수명을 늘리고, 전력 밀도를 높여 더 높은 스위칭 주파수로 동작할 수 있게 만든다[그림 3].

적합한 게이트 드라이버 선택

XMC4000과 같은 마이크로컨트롤러(MCU)나 디지털 신호 프로세서(DSP)로부터 받은 제어 신호는, 적합한 게이트 드라이버를 통해 전력 디바이스로 전달해야 한다. SOI(Silicon-on-insulator) 기술을 바탕으로 모노리딕 레벨 시프트 견고성과 갈바닉 절연 토어리스 트랜스포커 기술이 통합된 솔루션은, 하프·풀브리지 스테이지를 모두 구동할 수 있는 성능을 제공한다. 중요한 성능 지표로는 전달 지연, 구동 전류, VS 내성, 레벨 시프트 손실, 스위칭 주파수 등을 들 수 있다.

여기서 논의되는 디자인들은 EiceDRIVER 제품 라인 중 1ED와 2Edi, 2개의 제품군을 사용하고 있다. 이런 디자인의 단일 채널 절연형 CT 게이트 드라이버인 1EDC0112AH는 광폭 바디 패키지로 제공되며, UL-1577 인증을 취득하고 있다.

입력 측으로 넓은 전압 범위를 지원해 MCU나 DSP로 간편하게 연결할 수 있으며, 출력 측으로 유니폴라와 바이폴라 동작을 둘 다 지원한다. 레일-투-레일 출력 드라이버로서 게이트 저항 선택을 간편하게 만들고, 외부적인 고전류 바이패스 다이오드를 요구하지 않는다. 또한, 상·하측 구성이 dv/dt 제어를 향상시킨다[그림 4].

2EDS8265H는 고속 듀얼 채널 게이트 드라이버로, 입·출력 간 절연 후 다시 출력 측으로 채널-대-채널 절연을 수행한다. 공통 모드 제거 기능이 우수하며 신호 전달이 빠르고 구동 전류가 높아, 적층형 LLC의 일차 측에 사용되는 CoolMOS CFD7와 CoolSiC 디바이스와 잘 맞는다.

BEV 급속 충전기는 출력 디바이스가 전원으로 연결되지 않았을 때, 동적 셋다운이나 저전압 록아웃(UVLO)과 같은 기능을 사용해 솔루션의 전반적인 견고성을 높일 수 있다. 디커플링 커패시터를 입·출력 전원 핀에 가까이 배치하거나 접지 플레인을 사용해 기생 인덕턴스를 낮추는 것과 같은 레이아웃 최적화를 통해, 열적 성능과 전기적 성능(잡음 내성)을 향상시킬 수 있다.

결론

시내에서 BEV로 짧은 거리를 주행할 때와 마찬가지로, 장거리 주행에도 불안감없는 교통 수단으로 사용하기 위해서는 충전 인프라를 가솔린이나 디젤 차량 주유 시와 같은 수준으로 끌어올려야 한다. 이를 위해서는 150kW 대에 이르는 급속 DC 충전기가 필요하고, 이는 모듈러 방식으로 구현할 수 있다. 즉, 더 낮은 전력의 유닛들을 조합해 원하는 출력 전력을 달성할 수 있는 것이다.

효율, 신뢰성, 열 문제, 크기, 비용 등 모든 부분을 고려했을 때, SiC 디바이스가 적합한 솔루션이라는 것을 알 수 있다. 기존의 실리콘 MOSFET 스위치를 결합하거나, 적은 부품으로 최대 효율을 내기 위해 SiC 스위치를 결합할 수 있으며, 이에 적합한 게이트 드라이버와 제어 장치를 결합해 공기 냉각으로 30kW나 그 이상의 모듈이 세계 각 지역의 충전 표준을 충족하도록 만들 수 있다. E

[그림 4] 단일·듀얼 채널 코어리스 트랜스포머 EiceDRIVER 게이트 드라이버의 블록 다이어그램

