

22kW급 양방향 OBC 경부하 제어를 위한 충/방전 제어기법 설계

이완희, 이동한, 임병석, 박세진, 김진학, 최세완†
 서울과학기술대학교

Development of 22kW Bidirectional OBC with Charging/Discharging Control Technique for Light Load Control

Wan-Hee Lee, Donghan Lee, Byeongseok Lim, Sejin Park, Jinhak Kim, Sewan Choi†
 Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 효율 및 높은 전력 밀도 성취를 위한 22kW급 양방향 OBC 설계와 실험 결과를 소개한다. OBC의 AC/DC 단 토폴로지는 Totempole PFC를 선정하였고 DC/DC 단 토폴로지는 CLLC 공진형 컨버터를 선정하였다. 본 논문에서는 22kW OBC의 링크 전압 범위 선정을 위한 성능 비교와 넓은 배터리 전압 동작을 위한 추가 제어 방식을 제안한다. 본 논문에서는 양방향 OBC의 시작품을 통해 성능을 검증한다.

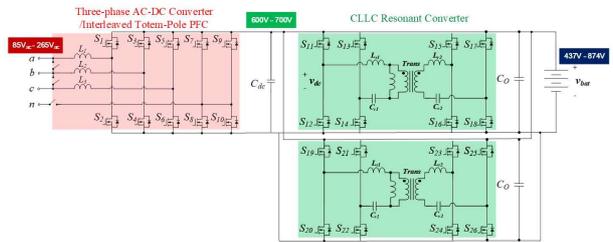


그림 1 단상/3상 겸용 22kW급 양방향 OBC 토폴로지
 22kW급 양방향 OBC의 전체 토폴로지를 나타낸다.

1. 서 론

최근 전기자동차의 기술 향상과 배터리 용량 증대로 주행가능 거리가 증가하고 내연기관 대비 유지비가 저렴하여 전기자동차의 수요가 급증하고 있다. 하지만, 전기자동차의 충전시간이 길다는 단점은 가장 큰 문제로 대두되고 있다. 충전시간을 단축하기 위해 기존 400V급 충전전압에서 800V급으로 상향되고 있는 추세이다. 그리고 전력이 많이 사용되는 시간대에 사용하지 않는 전기자동차 배터리전압을 계통으로 연계하여 보낼 수 있는 V2G(Vehicle To Grid)에 대한 연구도 계속되고 있다.

2. 본 론

2.1 단상/3상 겸용 양방향 OBC 토폴로지 선정

OBC 시스템은 차량의 배터리 충전뿐만 아니라 방전 기능을 요구하며, 계통 전압과 (85Vac ~ 265Vac) 배터리 전압의 (440Vdc ~ 870Vdc) 범위가 매우 넓다. 또한 높은 전력 밀도와 효율에 대한 기준은 나날이 높아지고 있다^[1]. 제안하는 OBC의 AC/DC부는 단상과 3상을 동일한 하드웨어로 동작시키기 위해 3상 인터리빙 Totempole PFC로 선정하였다. Totempole PFC를 여러 상으로 확장하여 인터리빙 기법을 적용하는 경우 출력 리플과 스위칭 손실이 감소하는 장점이 있다. DC/DC부는 CLLC 공진형 컨버터를 선정하였다. CLLC 공진형 컨버터는 전력 흐름, 부하 상태에 상관없이 전 전압 범위에서 항상 ZVS Turn-on을 성취하여 높은 효율을 갖는 장점을 갖는다. 그러나 용량이 크고 입출력 전압 범위가 높은 경우 High Q 설계와 넓은 주파수 범위가 강제된다. 이는 CLLC 공진형 컨버터의 수동 소자 부피 증가, 순환 전류에 의한 효율 감소를 야기하기 때문에 CLLC 공진형 컨버터를 2모듈로 구성 사용하여 각 모듈이 11kW의 전력을 분담하도록 하였다. 그림 1은 단상/3상 겸용

2.2 DC-Link 전압 범위 선정

표 1은 DC-Link 전압의 최댓값에 따른 Totempole PFC와 CLLC 공진형 컨버터의 성능 그리고 DC-Link 커패시터 부피의 변화를 나타낸다. DC-Link 전압의 최솟값은 3상 동작을 위해 600V로 선정하였다. DC-Link 전압 범위가 600V~700V인 경우 PFC의 인덕터의 코어 손실은 다소 증가하나, 스위치의

표 1 제안하는 OBC 토폴로지별 주요 파라미터

DC-Link 전압 범위		600 ~ 700V	600 ~ 800V
PFC	인덕터 코어 손실	5.68W	4.43W
	스위칭 손실	18.95W	20.07W
	Link Cap 면적	17,420mm ²	22,500mm ²
CLLC	자성체 면적	9,600mm ²	8,250mm ²
	스위칭 손실	26.04W	21.86W

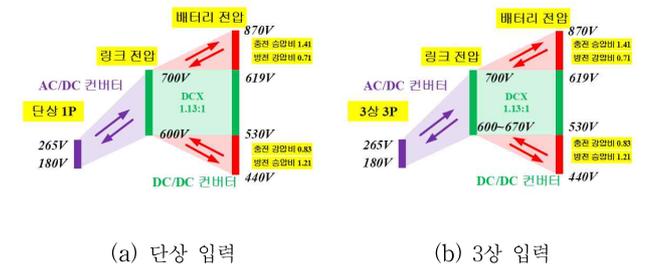
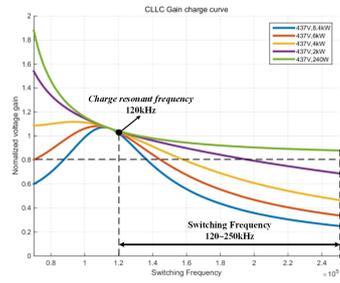
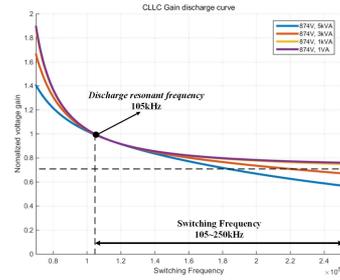


그림 2 배터리전압 범위에 따른 링크 전압



(a) 충전 강압 계인 곡선



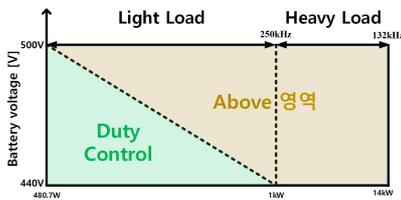
(b) 방전 강압 계인 곡선

그림 3. 충·방전 강압 계인 곡선

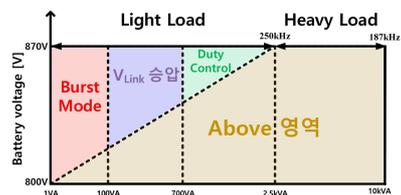
손실과 DC-Link 커패시터의 Footprint가 감소하는 장점이 있다. DC-Link 전압 범위가 600V~800V인 경우에는 CLLC 공진형 컨버터의 넓은 DCX 동작 범위로 인해 자성체 부피가 감소하고 스위치 손실이 감소하는 장점이 있다. 본 논문에서 제안하는 OBC는 DC-Link 커패시터의 부피와 계통 전압이 낮을 경우 PFC의 승압 이슈를 복합적으로 고려하여 DC-Link 전압의 최댓값을 700V로 선정하였다. 그림 2는 단상 동작과 3상 동작 각각의 계통 전압과 배터리 전압에 따른 충·강압비를 나타낸다.

2.3 계인곡선 및 경부하 제어

제안하는 OBC는 스위칭 손실과 제어 성능을 고려하여 최대 스위칭 주파수를 250kHz로 선정했다. 그림 3에 따르면 경부하로 동작하는 경우 250kHz의 계인이 요구되는 계인보다 높은 것을 확인할 수 있다. 이에 따라 경부하 동작 시, Duty cycle control과 Burst Mode 동작을 제안한다. 그림 4(a)에 따르면



(a) 충전 제어



(b) 방전 제어

그림 4. 충전 및 방전 경부하 제어

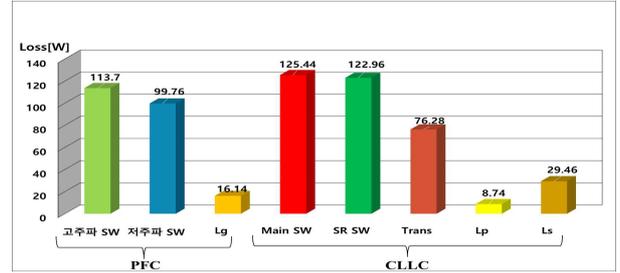
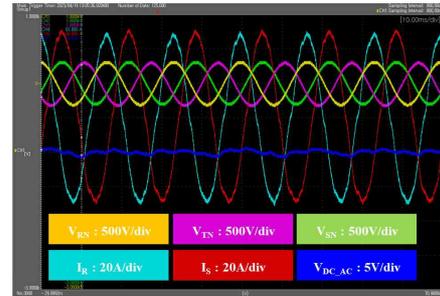
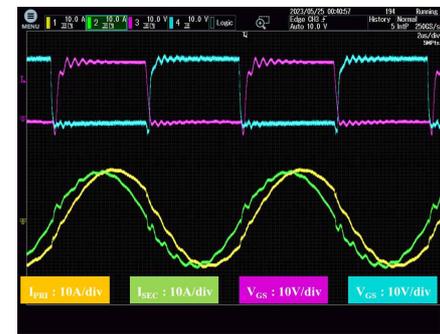


그림 5. 22kW 기준 수식을 이용한 스위치 및 자성체 예상 손실



(a) 3상 Totempole PFC 22kW 실험 파형



(b) CLLC DCX구간 7kW 실험 파형

그림 6. 실험 파형

충전 시, Duty cycle control를 적용하여 경부하로 동작하는 것을 확인할 수 있다. 그림 4(b)는 방전 시 Duty cycle control 외에 DC-Link 전압 승압과 Burst Mode 동작을 통해 경부하로 동작하는 것을 확인할 수 있다. 그림 5에 따라 OBC의 예상 효율은 96.86%로 예측되며 그림 6(a), (b)와 같이 실험으로 검증하고 있다.

3. 결론

본 논문에서는 효율 및 높은 전력 밀도 성취를 위한 22kW 급 양방향 OBC 설계와 실험 결과를 소개한다. 추후 최대부하에서의 통합실험을 통해 검증할 예정이다.

이 논문은 LG MAGNA의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.
이 논문은 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구재단 LINC 3.0 사업의 지원을 받아 수행된 연구임

참고 문헌

- [1] 임병석, 이재연, 이동한, 박세진, 최세완, 김현희, 양동혁, 이진희, 전용성.(2022).3상 22kW/단상 17.6kW 북미/유럽 공용 양방향 OBC 개발.전력전자학회 학술대회 논문집,(),594-595.