

V2G를 고려한 전기자동차용 11kW급 OBC의 설계

추경민*, 원일권*, 김도윤*, 김영렬**, 원충연*
 성균관대학교*, 안양대학교**

Design of 11kW OBC considering V2G for electric vehicle

Choo Kyoung-min*, Won Il-Kuen*, Kim do-yun*, Kim young-real**, Won chung-yuen*
 Sungkyunkwan university*, Anyang university**

ABSTRACT

Vehicle-to-grid (V2G) 시스템에서의 전기자동차는 계통의 에너지 저장장치로서 이용되는데 여기서 계통과 전기자동차의 에너지 교환을 위해서는 양방향 컨버터가 필요하다. 이 논문에서는 BSS-FBC^[1] (Bidirectional Single-Stage Full-Bridge Converter)를 이용하여 V2G가 가능한 전기자동차용 11kW급 OBC를 설계하였다.

1. 서 론

최근 세계적으로 탄소 배출에 대한 규제가 강화되었고 유가 또한 불안정하여 많은 전기자동차(Electric Vehicle, EV)들이 출시되었으며 시장과 인프라가 급속하게 커지고 있다.

전기자동차의 상용화는 자동차의 패러다임뿐만 아니라 전력 공급방식의 패러다임까지 영향을 끼치게 되는데 이는 전기자동차의 커다란 배터리용량이 스마트 그리드에서 에너지 저장장치로서의 역할을 수행할 수 있기 때문이다. 이러한 이유로 앞으로의 차량탑재형 충전기(Onboard charger, OBC)는 단순히 차량의 배터리를 충전하는 것 뿐만이 아닌 차량의 배터리에서 계통으로 에너지를 되돌려주는 역할 즉 Vehicle to grid (V2G)의 역할도 요구된다.

표 1은 국제자동차기술자협회 (Society of Automotive Engineers, SAE)에서 제정한 전기자동차 충전기 전력 레벨에 관한 규격을 나타낸다. OBC의 경우 AC Level 1과 2의 용량에서 개발되고 있으며 최근 상용화된 OBC는 3.3kW, 6.6kW의 용량을 가지고 있다.

본 논문에서는 V2G의 활용도를 극대화하기 위하여 11kW급 OBC를 설계하였고 시스템의 부피를 줄이고, 성능을 개선하기 위해 BSS-FBC 토폴로지를 이용하였으며, 토폴로지의 분석과 선정된 파라미터를 적용한 시뮬레이션을 통하여 본 논문의 타당성을 검증하였다.

표 1 국제자동차기술자협회 제정 전기자동차 충전 전력 레벨
 Table 1 Charging levels for EV defined by SAE

Level	전압	최대 전류	전력
AC Level 1	120 V _{ac}	16A	1.92 kW
AC Level 2	120 V _{ac} 208-240 V _{ac}	80A	19.2 kW

2. V2G를 고려한 OBC의 양방향 컨버터 설계

2.1 토폴로지의 선정

본 논문에서는 그림 1의 BSS-FBC 토폴로지^[1]를 이용하여 OBC를 설계하였다. BSS-FBC 토폴로지는 모드 동작시 하나의 스테이지만을 사용하고 DC링크 커패시터가 없는 특징을 가지고 있다. 이 장에서는 토폴로지의 동작모드를 분석하고 파라미터의 선정 시 고려해야할 사항에 대하여 기술하였다.

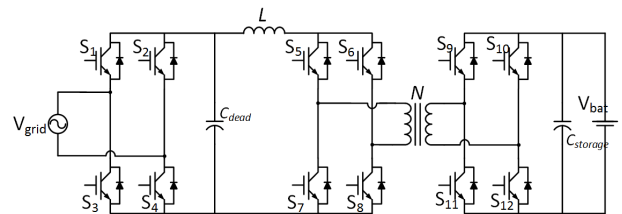


그림 1 BSS-FBC 토폴로지를 이용한 양방향 AC-DC 컨버터
 Fig. 1 Bidirectional single-stage full-bridge converter

2.2 BSS-FBC의 모드분석

BSS-FBC의 토폴로지는 계통의 에너지를 이용하여 배터리를 충전하는 충전 모드와 배터리의 에너지를 다시 계통으로 되돌려 보내는 방전 모드, 두 개의 모드를 가진다. 각 모드는 그림 2와 같이 일반적인 회로로 등가화 할 수 있다.

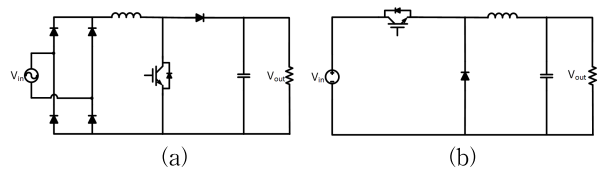


그림 2 각 모드의 등가회로 (a) 충전 모드 (b) 방전 모드
 Fig. 2 Equivalent circuits for each mode.

(a) Charging mode, (b) Discharging mode

2.2.1 충전 모드

충전모드에서의 BSS-FBC는 S₅-S₈ 스위치들만이 활성화되며 나머지 스위치들은 역방향 다이오드에 의해 단상 다이오드 정류기로서 동작한다. 이 모드에서의 BSS-FBC의 동작특성은 그림 2-(a)와 같이 Boost PFC 로 등가화 할 수 있다. 이를 참고하여 BSS-FBC의 충전모드에서의 전압전달비($G_{V_{charging}}$)를 구

하면 식(1)과 같이 표현된다.

$$G_{V_{charging}} \equiv \frac{v_{bat}}{|v_{grid}|} = \frac{1}{N} \times \frac{1}{1-d} \quad (1)$$

여기서 V_{grid} 는 계통 입력전압, v_{bat} 은 배터리전압, N 은 변압기의 권선비이며 d 는 duty ratio이다.

2.2.2 방전 모드

방전모드에서의 BSS-FBC는 S_1 - S_4 스위치와 S_9 - S_{12} 스위치들이 활성화되고 S_5 - S_8 스위치는 단상 다이오드 정류기로서 동작한다. 이 때 S_1 - S_4 스위치들은 계통의 주파수로 0.5 duty ratio를 가지고 상보동작한다. 그러므로 방전모드의 동작을 분석하기 위해서는 S_9 - S_{12} 스위치들이 어떻게 동작하는지 분석하는 것이 중요하며 이 동작특성은 그림 2-(b)와 같이 Buck 컨버터로 등가화할 수 있다. 이를 참고하여 BSS-FBC의 방전모드에서의 전압전달비($G_{V_{discharging}}$)를 구하면 다음과 같다.

$$G_{V_{discharging}} \equiv \frac{v_{bat}}{v_{grid}} = \frac{1}{N} \times \frac{1}{d} \quad (2)$$

2.3 시뮬레이션 및 파라미터의 선정

앞에서 분석한 각 모드를 고려하여 11kW 급 OBC를 제작하기 위해 각 소자의 파라미터를 선정하였고 선정된 파라미터에 따른 동작을 확인하기 위해 시뮬레이션을 진행하였다.

2.3.1 변압기

변압기를 이용하면 절연은 물론이고 다양한 전압영역의 배터리들을 같은 토폴로지로 충전 혹은 방전이 가능하다. 배터리를 충전하기 위해 필요한 전압을 만들어내기 위해 요구되는 권선비는 식 (3)으로부터 얻어진다.

$$N \geq \frac{V_{grid_peak}}{V_{bat_min}(1-D_{min})} \quad (3)$$

여기서 V_{grid_peak} 는 계통의 진폭, V_{bat_min} 은 배터리의 최소 전압, N 은 변압기의 권선비이며 d 는 duty ratio이다.

또한 배터리의 에너지를 계통으로 보낼 때 SPWM으로 동작하게 되는데 이 때 Modulation index와 배터리 전압으로부터 계통 전압 이상의 전압을 만들어내기 위한 최소 권선비는

$$N > \frac{V_{carrier_peak}}{V_{ref_peak}} \times \frac{V_{grid_peak}}{V_{bat_min}} \quad (4)$$

와 같이 얻어지며 여기서 $V_{carrier_peak}$ 는 캐리어파형의 진폭, V_{ref_peak} 는 기준전압의 진폭이다.

2.3.2 인덕터

인덕터는 전류 고조파를 억제하기 위해 사용되며 최대 고조파 인가 지점에서의 고조파를 제한하기 위한 인덕턴스의 값은

$$L \geq \frac{V_{grid_peak}(NV_{bat_max} - V_{grid_peak})}{\Delta i_{max} NV_{bat_max} f_L} \quad (5)$$

와 같이 구해진다. 여기서 Δi_{max} 는 최대 전류리플, f_L 은 인덕터의 동작주파수이다. 그러나 인덕턴스를 너무 큰 값으로

선정하면 전류의 응답이 느려지므로 전류의 변화가 가장 빠른 구간에서 사용 가능한 인덕턴스의 최대값을 식 (6)과 같이 구한다.

$$L \leq \frac{NV_{bat_min}}{I_{grid_max} 2\pi f_{grid}} \quad (5)$$

2.3.3 시뮬레이션

앞에서 기술한 사항을 고려하여 표 2와 같이 파라미터를 선정하고 시뮬레이션을 진행하였다. 부하는 배터리와 에너지저장 커패시터의 합성 커패시턴스를 가정하여 4F의 커패시터를 이용하였다.

표 2 시뮬레이션 파라미터

Table 2 Simulation parameter

입력 전압	220 [V _{rms}]	배터리 전압	190-200 [V]
입력 주파수	60 [hz]	변압기 턴수비	2 : 1
스위칭 주파수	10 [khz]	인덕턴스	2 [mH]

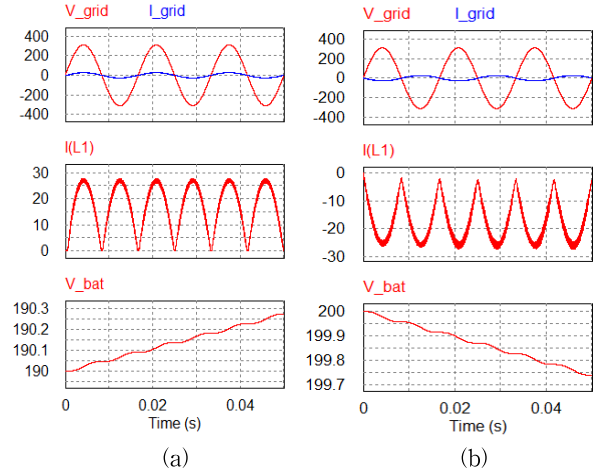


그림 4 각 모드에서의 시뮬레이션 출력파형

(a) 충전모드, (b) 방전모드

Fig. 4 Simulation waveform for each mode.

(a) Charging mode, (b) Discharging mode

그림 4에서 보이는 것처럼 변압기 턴수비를 2로 했을 때 배터리 전압 190-200[V]에서 충,방전이 가능하다. 또한 최대 인덕터 전류가 흐르는 지점에서의 전류리플은 위의 파라미터를 선정할 때 설계치였던 1.73[A] 정도의 전류리플이 발생하였다.

3. 결론

이 논문에서는 V2G를 구현하기 위한 전기자동차의 11kW 급 OBC의 설계에 대해 기술하였다. OBC를 위한 양방향 AC-DC 토폴로지는 BSS-FBC를 선정하였고 동작모드를 분석하고 파라미터를 선정하였다. 또한 선정된 파라미터를 시뮬레이션에 적용하여 타당성을 증명하였다.

참고 문헌

- [1] Jiuchun Jiang, "Topology of a Bidirectional Converter for Energy Interaction between Electric Vehicles and the Grid", *Energies*, pp. 4858-4894, 2014, July.