

OBC-LDC 통합형 회로에 대한 연구

김이삭, 이선호, 이현우, 장유남, 박정욱
연세대학교

Study of OBC-LDC Integrated Circuit for xEVs

Issac Kim, Sunho Lee, Hyunwoo Lee, Yu-Nam Jang, Jung-Wook Park
Yonsei University

ABSTRACT

본 논문에서는 차량 탑재형 충전기 (OBC)와 저 전압 배터리 충전기 (LDC)의 각 기능에 대해 분석한다. 또한, 두 배터리 충전기를 통합한 OBC-LDC 통합형 회로의 장·단점과 기능에 대해 분석한다. 또한, OBC-LDC 통합형 회로에 대한 두 토폴로지의 장·단점을 비교 분석하고, PSIM을 사용하여 각 토폴로지에 대한 시뮬레이션을 진행하여 회로의 동작 및 성능을 비교 분석한다.

1. 서론

전기자동차에 대한 연구가 증가함에 따라 전기자동차 내부 전력변환장치에 대한 관심도 증가하고 있다. 또한, 전기자동차 내부 각각의 전력변환장치에 대한 연구뿐만 아니라, 전력밀도 및 경제성을 높이기 위해 소자수를 줄이는 통합형 회로에 대한 연구가 진행되고 있다 [1]-[3].

본 논문에서는 두 종류의 차량 탑재형 충전기 (OBC)와 저 전압 배터리 충전기 (LDC)통합형 회로를 비교 분석한다.

2. OBC-LDC 통합형 회로

2.1 통합형 회로 구성

통합형 회로는 기존 OBC, LDC 각각의 역할을 수행할 수 있어야 한다. 즉, 그리드로부터 고 전압 배터리를 충전하는 grid to vehicle (G2V)기능, 고 전압 배터리로부터 그리드에 전력을 공급하는 vehicle to grid (V2G)기능, 그리고 고 전압 배터리로부터 저 전압 배터리를 충전하는 LDC기능을 수행할 수 있어야한다. 즉, 통합형 회로는 G2V 기능에서 그리드의 AC의 역할을 향상시키며 DC로 변환해주며 V2G 기능에서 DC를 그리드의 AC로 변환해주는 양방향 동작이 가능한 역률보상 회로 (PFC), G2V기능에서 PFC의 출력전압을 고 전압 배터리에 맞게 변환해주며 V2G기능에서 고 전압 배터리의 전압을 인버터의 입력전압으로 변환해주는 양방향 dc/dc 컨버터, 그리고 고 전압 배터리의 전압을 저 전압 배터리에 맞게 변환해주는 dc/dc 컨버터로 구성된다. 따라서, 통합형 회로를 설계할 때 사용되는 수동소자 및 능동소자의 개수를 최소화하면서 3가지의 기능을 수행할 수 있어야하며, 동시에 각 기능에 대한 성능을 극대화해야 한다.

2.1.1 멀티기능 OBC 회로 구성

그림 1은 OBC와 LDC를 통합한 멀티기능 OBC 회로의 토폴로지를 나타낸다 [1]. G2V기능과 V2G기능에서의 양방향 동작의 필요성에 의해 totem-pole PFC (TTPL PFC)와 위상천이 제어를 통해 동작하는 dual active bridge (DAB)컨버터로 구성된다. 이 때, 기능형 스위치 M 은 G2V와 V2G기능으로 동작할 시 b 에 연결되어 저 전압 배터리를 회로에서 분리하여 동작하고, LDC기능으로 동작할 때만 a 에 연결되어 동작하도록 구성된다.

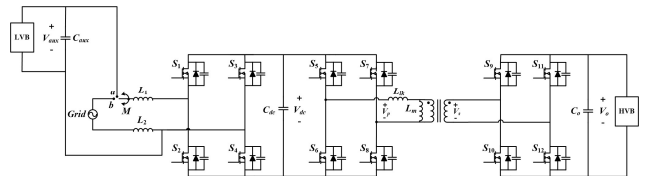


그림 1 멀티기능 OBC 회로 토폴로지

2.1.2 OBC-LDC 통합 전원장치 회로 구성

그림 2는 OBC-LDC 통합 전원장치 토폴로지를 나타낸다 [2]. 위의 통합회로의 경우 기존 OBC에 회로를 추가한 토폴로지를 갖는다. 즉, center-tapped 정류기에 저 전압 배터리를 G2V기능에서 제외하면서 고 전압 배터리의 전압을 저 전압 배터리의 조건에 맞게 낮춰주는 S_5, D_3 으로 이루어진 built-in buck 컨버터가 추가된 토폴로지를 갖는다.

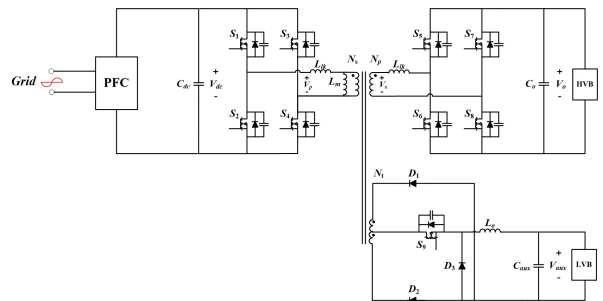


그림 2 OBC-LDC 통합 전원장치 토폴로지

2.2 통합형 회로의 동작원리

멀티기능 OBC의 경우 S_1-S_4 로 이루어진 H-bridge 컨버터가 G2V기능에서는 TTPL PFC로, V2G기능에서는 단상 인버

터로 동작한다. 또한, S_5-S_{12} 로 이루어진 DAB 컨버터는 G2V, V2G기능에서 위상천이 제어되어 동작한다. LDC기능에서는 먼저 S_5-S_{12} 로 이루어진 DAB 컨버터를 통해 일차적으로 전압을 낮추고, S_1-S_4 로 이루어진 H-bridge 컨버터가 벅 컨버터로 동작하여 저 전압 배터리의 전압조건을 맞춘다. 즉, two-stage 동작을 통해 저 전압 배터리를 충전하게 된다.

OBC-LDC 통합 전원장치의 G2V기능의 경우 멀티기능 OBC와 동일한 원리로 동작한다. LDC기능의 경우 S_5-S_8, D_1, D_2 로 이루어진 위상천이형 dc/dc 컨버터와 S_9, D_3 로 이루어진 built-in buck 컨버터를 동시에 동작시켜 저 전압 배터리의 조건을 정밀하게 맞추며 저 전압 배터리를 충전하게 된다.

2.3 통합형 회로의 특징 비교 분석

OBC-LDC 통합형 전원장치의 경우 멀티기능 OBC와는 달리 interleaved boost PFC를 사용하여 OBC의 양방향 동작이 불가능하기 때문에 V2G기능을 다루고 있지 않다. 또한, OBC-LDC 통합형 전원장치의 경우 회로를 추가하여 LDC기능에서의 성능을 높인다는 특징이 있다. 표 1은 멀티기능 OBC와 OBC-LDC 통합 전원장치에 사용된 반도체 소자들의 개수 비교를 나타낸다. 멀티기능 OBC가 TTPL PFC의 사용과 추가적인 반도체 소자 없이 LDC기능을 수행함으로써 보다 적은 스위칭 소자로 OBC와 LDC의 기능을 수행한다는 것을 알 수 있다.

표 1 멀티기능 OBC와 통합형 전원장치 간 소자 개수 비교

멀티기능 OBC		OBC-LDC 통합 전원장치	
Switch	12	Switch	11
Diode	0	Diode	9
Total	12	Total	20

2.4 시뮬레이션 결과 및 분석

멀티기능 OBC와 OBC-LDC 통합형 전원장치의 동작은 LDC기능에서 큰 차이가 있다. 따라서 LDC기능에서의 두 가지의 통합형 회로의 동작에 대한 시뮬레이션을 PSIM을 이용하여 진행하고, 효율을 비교 분석하였다.

표 2 멀티기능 OBC와 통합형 전원장치 설계 사양

	멀티기능 OBC	OBC-LDC 통합 전원장치
Input Voltage	300-420 [V]	300-420 [V]
Output Voltage	24 [V]	24 [V]
Switching Frequency	40 [kHz]	40 [kHz]
Turns Ratio	19 : 15 ($N_p : N_s$)	15 : 2 ($N_s : N$)
Leakage Inductance	20 [μ H]	20 [μ H]
Magnetizing Inductance	1 [mH]	1 [mH]

표 2는 시뮬레이션 설계사양을 나타내고, 그림 3은 LDC기능에서의 멀티기능 OBC와 OBC-LDC 통합형 전원장치의 효율

비교 그래프를 나타낸다. 그림 3에서 노란색 선이 멀티기능 OBC의 효율을 나타내고, 빨간색 선이 OBC-LDC 통합형 전원장치의 효율을 나타낸다. 그림 3과 표 1을 통해 멀티기능 OBC에서 사용한 소자의 수가 OBC-LDC 통합형 전원장치에 비해 적지만 two-stage 동작의 필요성 때문에 LDC기능에서의 효율은 거의 모든 부하구간에서 OBC-LDC 통합형 전원장치에 비해 작다는 것을 알 수 있다.

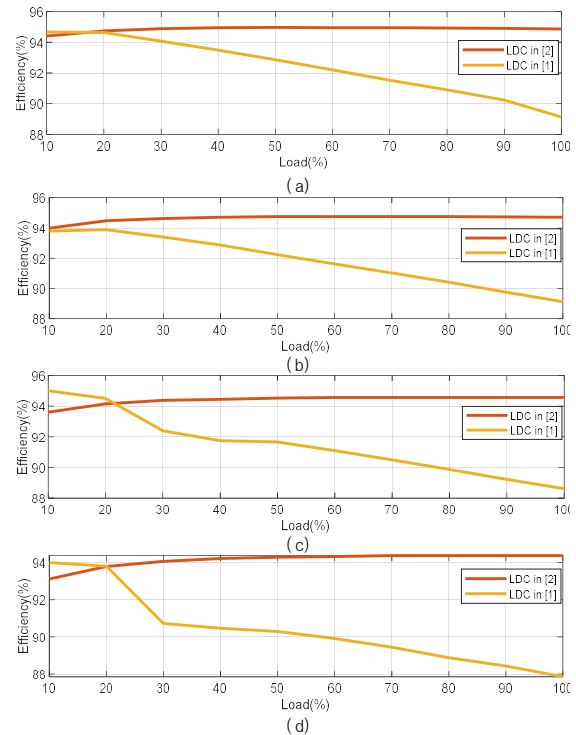


그림 3 LDC기능에서의 효율 비교 그래프 (a) $V_{in} = 300$ V, (b) $V_{in} = 340$ V, (c) $V_{in} = 380$ V, (d) $V_{in} = 420$ V

3. 결론

본 논문은 멀티기능 OBC와 OBC-LDC 통합형 전원장치의 토폴로지와 동작원리를 비교하고, 시뮬레이션을 진행하였다. 멀티기능 OBC가 OBC-LDC 통합형 전원장치에 비해 소자 수가 적어 전력밀도가 높다는 장점이 있지만, LDC 기능에서 성능이 감소한다는 특징을 보였다.

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020R1A3B2079407)

참고 문헌

- [1] S. Kim and F. S. Kang, "Multifunctional onboard battery charger for plug-in electric vehicles," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 62, no. 6, pp. 3460-3472, Jun. 2015.
- [2] Y. S. Kim, C. Y. Oh, W. Y. Sung, and B. K. Lee, "Topology and Control Scheme of OBC-LDC Integrated Power Unit for Electric Vehicles," in *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 32, no. 3, pp. 1731-1743, Mar. 2017.