

800V-48V-12V LDC를 위한 DAB-SRC 기반 DC-DC 컨버터

이창섭, 도 응옥 규, 기에우 흐우 폭, 이상훈, 최세완*

서울과학기술대학교

Bidirectional DAB-SRC based DC-DC converter for 800V-48V-12V LDC

Changseob Lee, Do Ngoc Quy, Kieu Huu Phuc, Sanghoon Lee, Sewan Choi*

Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 48V 4kW, 12V 2kW 3-port LDC(Low DC-DC Converter)를 위한 양방향 DC-DC 컨버터를 제안한다. 제안하는 양방향 DC-DC 컨버터는 DAB-SRC(Dual Active Bridge-Series Resonant Converter)를 기반으로 한다. 제안하는 컨버터는 넓은 배터리 전압범위에 적합하며, 전 구간 ZVS(Zero Voltage Switching) 달성이 가능하다. 토폴로지의 동작원리와 주요 파형을 설명하고 파라미터 설계값과 그 실험 결과를 보여주고 있다. 시작품은 48V 4kW, 12V 2kW 급으로 설계 되었으며 전력밀도는 7.5kW/L를 달성하였다. 6kW 정격 동작을 통하여 그 타당성을 검증하였고 최고효율 95.8%를 달성하였다.

1. 서론

최근 전기자동차의 사용량 증가와 사용자들의 여러 부가기능 수요 증대로 인해 전기자동차 주변장치의 부하량이 증가하고 있다. 증가된 전기자동차의 주변장치 부하를 해결하기 위해 케이블의 크기가 증가하고 이에 따라 손실 및 비용도 증가하고 있다. 이에 케이블 크기를 줄이고 더 높은 부하 신뢰성을 위해 48V로 부하를 변경하는 추세이다. 48V 부하로는 전력 사용량은 크지만 중요 부하는 아닌 에어컨, 워머 등을 사용하고 있고 12V 부하로는 차량 운행과 직결되는 중요한 부하를 사용하고 있다.^[1] 12V와 48V 부하를 동시에 사용하기 때문에 각각의 전압에 대응할 컨버터가 필요하다. 고전력밀도를 위해 12V와 48V에 동시 대응 가능한 멀티포트들이 활발히 연구되고 있다.^[2] 그러나 ZVS달성이 어렵거나 턴오프 전류가 커서 높은 스위칭 주파수를 사용하지 못하는 등의 단점이 있다. 본 논문에서는 턴오프전류 및 순환전류가 작은 3-port LDC를 제안하고 주요 파형을 소개하며 6kW급 시작품의 실험을 통해 컨버터 검증을 하였다.

2. 제안하는 양방향 3-port LDC

그림 1은 제안하는 양방향 3-port LDC의 토폴로지를 보여준다. 제안하는 토폴로지는 HV, LV_48V, LV_12V 세개의 포트를 가진다. Bridge1과 Bridge2 사이에는 하나의 변압기(T1)가 있고, Bridge2와 Bridge3 사이에는 두개의 변압기(T2, T3)로 구성된다. T1의 자화인덕턴스는 500uH 이상으로 크게 설계하여 그림1에서 생략하였고 SRC와 같은 동작을 보장한다. Bridge2는 L_{m1} 과 L_{m2} 를 필터 인덕터로 사용하는 벡/부스트 컨버터로 동작한다. 2상 인터리빙 동작을 통하여 C_c 의 전류정격과 커패시턴스를 최소화 하였다. 제안하는 LDC는 그림 2와 같은 파형을 가지며, 그림3과 같이 ϕ_1 , ϕ_2 , D_L , D_H 네 개의 제어변수를 갖는다. D_L 은 Bridge2의 벡/부스트 동작에서의 Duty 비율이고, LV_12V와 LV_48V의 전압 비율로 결정된다. D_H 는 Bridge3의 래그간 위상차를 나타내는 Duty 비율이다. 배터리 전압이 630V보다 낮을 경우 0.5를 유지하고 630보다 클 경우 $V_{ab,rms}$ 와

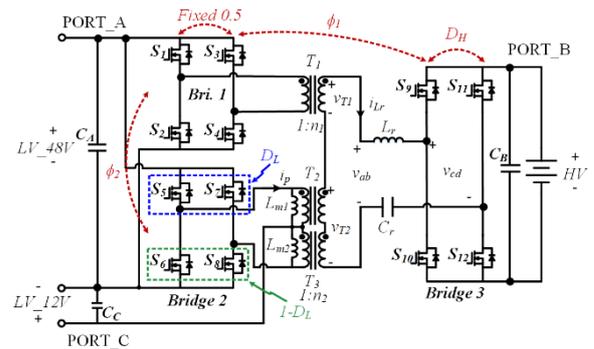


그림1. 제안하는 3-port 토폴로지

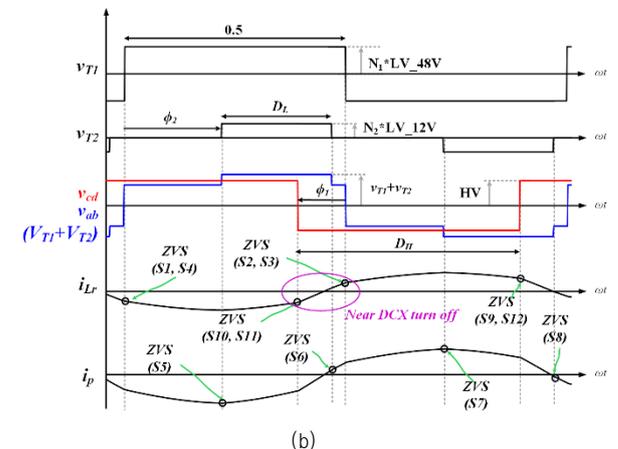
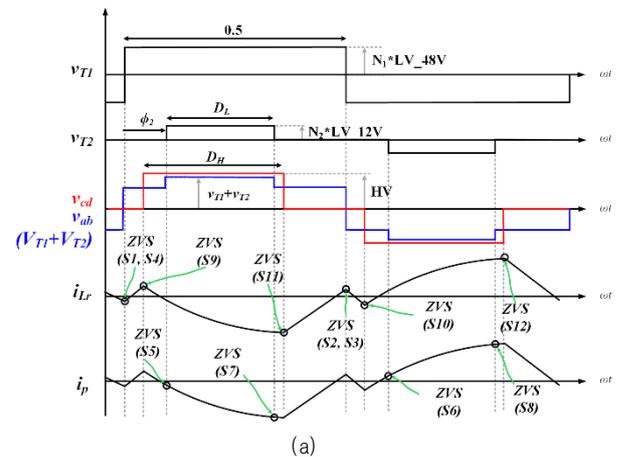


그림2. 주요 파형 (a) HV > 630V (b) HV < 630V

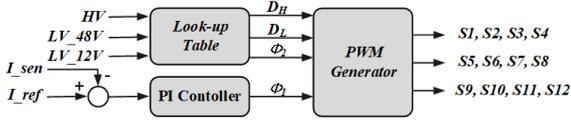


그림3. 제어 블록도

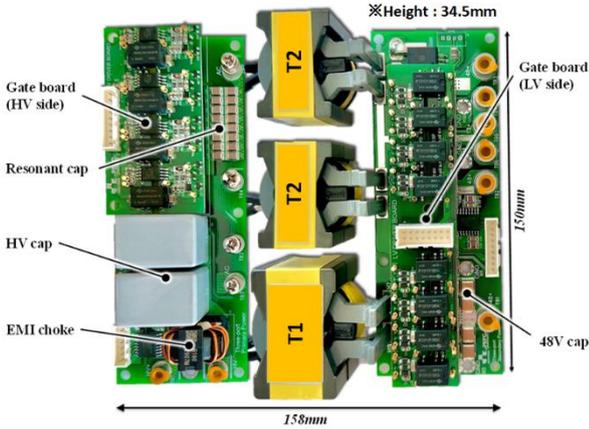


그림4. 6kW(48V-4kW, 12V-2kW)급 시작품

표 1. 파라미터 설계 값

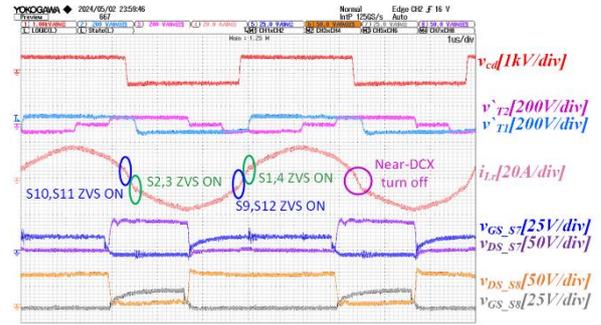
n1	10	f _s	200kHz
n2	5	HV	350V ~ 840V
L _r	22μH	LV_48V	48V
C _r	64nF	LV_12V	12V
HV 측 스위치	Infineon社 A1MCQ120R060M1T		
LV 측 스위치	Infineon社 IAU300N10S5N015T		

$V_{cd,rms}$ 의 비율로 값을 정한다. D_H 를 활용하여 $V_{ab,rms}$ 와 $V_{cd,rms}$ 를 동일하게 유지함으로써 $i_{L,rms}$ 를 항상 최소로 유지할 수 있고 고효율을 달성할 수 있다. ϕ_2 는 Bridge1과 Bridge2의 위상차를 나타낸다. ϕ_2 를 조절함으로써 배터리 전압이 높을 때 Bridge2의 ZVS 성취를 보장하고 배터리 전압이 낮을 때는 Bridge1과 Bridge3의 DCX 동작을 보장한다. DCX동작으로 턴오프 손실을 저감하여 스위칭 주파수를 높일 수 있다. 높은 스위칭주파수로 수동소자의 부피를 줄이고 고전력밀도를 달성하였다. ϕ_1 는 Bridge1과 Bridge3의 위상차로 토폴로지의 파워를 제어한다. ϕ_2 , D_L , D_H 은 전압과 파워별로 룩업테이블로 구성하여 제어에 사용하고 최종 제어블록도는 그림3과 같다.

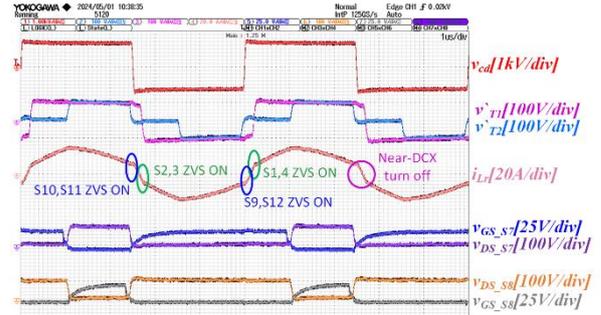
3. 실험결과

제안하는 양방향 3-port LDC의 동작과 성능을 검증하기 위해 6kW급 시작품을 제작하고 실험을 진행하였다. 시작품은 그림4과 같고 전력밀도 7.5kW/L를 달성하였다. 표 1은 각 파라미터 설계 결과 값이다. 스위칭 주파수는 ZVS 조건을 고려해 공진주파수 보다 높은 주파수에서 설계를 고려하였으며 손실, 전력밀도를 고려해 선정하였다. 공진 탱크의 경우 SRC의 Q factor가 ϕ_1 의 범위와 연관이 있다. ϕ_1 이 크면 효율 감소 비율이 증가하는 문제가 있어 최대 ϕ_1 을 40도로 설정하고 공진탱크를 설계하였다. 그림 5는 시작품의 정격(48V-4kW, 12V-2kW) 실험 파형이고 모든 스위치가 ZVS달성 하는 것을 볼 수 있다. 실험 최대효율은 60%부하에서 95.8%를 달성하였고 풀부하 효율은 94.8%를 달성하였다.

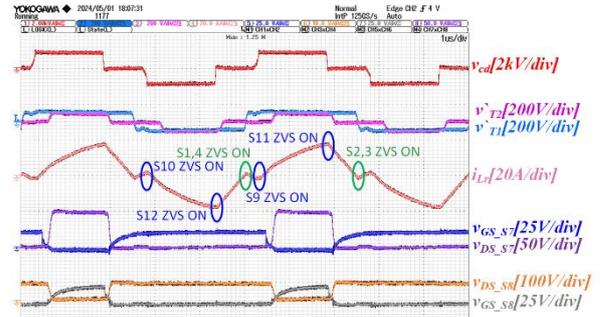
이 논문은 Infineon의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.
이 논문은 교육부와 한국연구재단의 지원으로 지원을 받아 수행된 3단계 산학협력 선도대학 육성사업(LINC 3.0)의 연구임.



(a)



(b)



(c)

그림5. 정격 (48V-4kW, 12V-2kW) 실험 파형

(a) 350V-48V-12V (b) 630V-48V-12V (c) 840V-48V-12V

4. 결론

본 논문에서는 넓은 배터리 전압에 대응 가능하며 12V와 48V에 동시 대응 가능한 양방향 LDC용 DC-DC컨버터를 제안하였다. 6kW급 시작품을 제작하여 배터리 전압별 정격 동작을 검증하였다. 시작품은 7.5kW/L의 전력밀도를 달성하였고 추후 컨버터 효율 개선을 위한 연구를 진행하며 모델링을 통해 추가적인 분석을 진행할 예정이다.

참고 문헌

[1] Koth, R.; Chakraborty, S.; Tran, D.-D.; Abramushkina, E.; El Baghdadi, M.; Hegazy, O. Power Electronics Converters for Electric Vehicle Auxiliaries: State of the Art and Future Trends. *Energies* 2023, *16*, 1753.
[2] K. Itoh, S. Inoue, T. Sugiyama and M. Sugai, "Design and modulation method of Multi-port DC/DC converter for next generation HV sub system," IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Florence, Italy, 2016, pp. 1318-1323.