

Mild-HEV용 48V 시스템에 적용되는 소프트 스위칭 방식의 인터리브드 양방향 LDC

이종영, 이순령, 백승호, 이강현, 원충연
성균관 대학교

Interleaved Bi-directional LDC with Soft-switching for 48V system of Mild-HEV

Jong-Young Lee, Soon-Ryung Lee, Seung-Ho Baek, Kang-Hyun Lee, Chung-Yuen Won
Sungkyunkwan University

ABSTRACT

This paper presents interleaved bi-directional LDC(Low DC-DC converter) with soft-switching for 48V system of Mild-HEV(Hybrid Electric Vehicles). The proposed LDC is composed of interleaved bi-directional converter and small resonant inductor and capacitors. Comparing the conventional converter, the proposed LDC improves the problem of switching loss by employing soft-switching. In this paper, mode analysis is described in detail for operating the soft-switching. The proposed LDC is verified by PSIM simulation.

1. 서 론

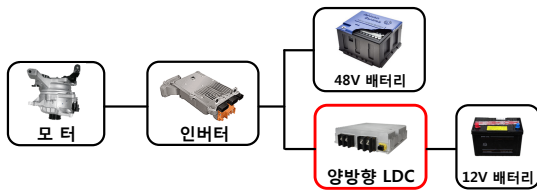


그림 1 마일드-HEV용 48V 시스템의 구성
Fig. 1 Configuration of 48V system in mild-HEV

차량의 전장화로 인해 증가하는 부하의 전원 공급 및 연비 향상을 목적으로 도입된 Mild-HEV(Hybrid Electric Vehicles) 용 48V 시스템은 그림 1과 같이 별도의 전력변환 장치인 양방향 LDC(Low DC-DC Converter)를 추가하여 기존 12V 부하 시스템을 구동한다. 이러한 양방향 LDC는 손실로 인한 연비 저감을 최소화하기 위해 효율의 극대화가 필요하며, 차체 변화를 최소화하기 위해 소형화가 요구된다^[1].

본 논문에서는 기존 인터리브드 양방향 컨버터에 공진 인덕터 및 공진 커패시터 소자를 추가한 소프트 스위칭 방식의 인터리브드 양방향 LDC를 제안한다. 제안하는 LDC의 인터리브드 구조는 저전압·고전류 조건의 전력변환 시스템에서 리플 저감 및 효율을 개선할 수 있는 장점이 있다. 또한 비교적 간단한 방식으로 소프트 스위칭을 구현하여 스위칭 손실을 저감하고, 이를 통해 고 스위칭 주파수 구동이 가능하다. 제안하는 LDC는 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

2. 본 론

2.1 제안하는 인터리브드 양방향 컨버터

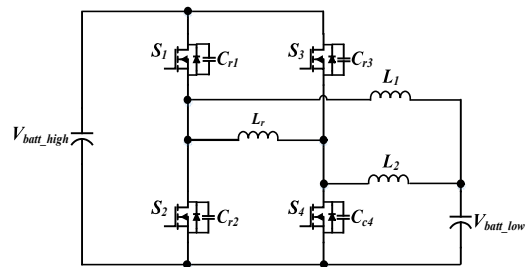


그림 2 제안하는 인터리브드 양방향 LDC
Fig. 2 The proposed interleaved bi-directional LDC

그림 2는 제안하는 소프트 스위칭 방식의 인터리브드 양방향 LDC를 나타낸다. 제안하는 LDC는 기존 인터리브드 양방향 컨버터에 공진 인덕터 L_r , 4개의 스위치에 각각 병렬로 공진 커패시터 C_{r1} , C_{r2} , C_{r3} , C_{r4} 를 추가한 구성이다.

제안하는 LDC의 모든 스위치는 영전압 스위칭(Zero voltage switching, ZVS) 및 영전류 스위칭(Zero current switching, ZCS) 조건을 만족한다.

2.2 동작 모드 분석

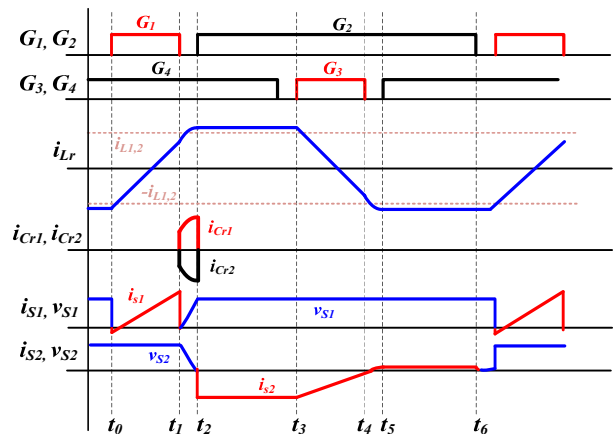


그림 3 제안하는 LDC의 주요 파형
Fig. 3 The key waveforms of the proposed LDC

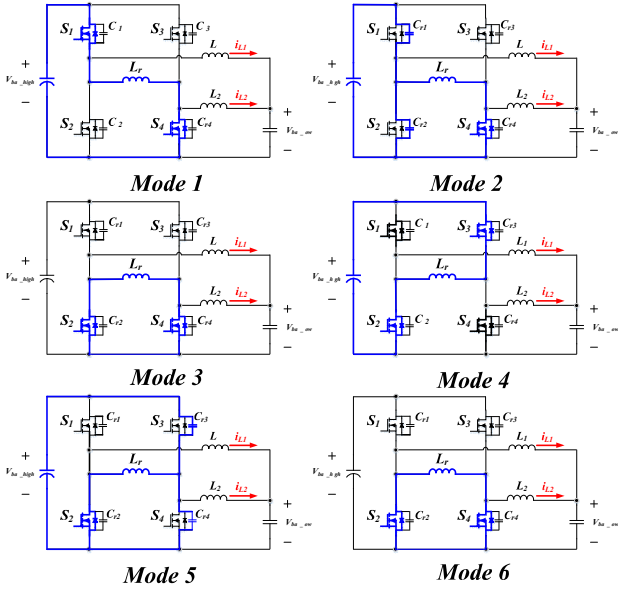


그림 4 제안하는 LDC의 동작 모드

Fig. 4 Operating modes of the proposed LDC

제안하는 LDC는 강압 모드 동작 시 그림 3, 그림 4와 같이 공진 인덕터 L_r 전류의 흐름에 따라 6개의 구간으로 나누어진다. 승압 모드 동작은 강압 모드 동작과 유사하며, 본 논문에서는 강압 모드 동작만을 분석하였다.

모드 1 ($t_0 \leq t < t_1$): 모드 1은 스위치 S_1 에 On 신호가 인가되는 t_0 부터 Off 신호가 인가되는 t_1 까지 지속된다. 이 때 공진 인덕터에 흐르는 전류 i_{Lr} 는 식 (1)과 같이 선형적으로 증가한다.

$$i_{Lr}(t) = i_{Lr}(t_0) + \frac{V_{batt_high}}{L_r}(t - t_0) \quad (1)$$

모드 2 ($t_1 \leq t < t_2$): 모드 2는 스위치 S_1 과 S_2 에 Off 신호가 인가된 구간으로, 공진 인덕터 L_r 와 공진 커패시터 C_{r1} , C_{r2} 가 공진한다. t_1 에서 공진 커패시터의 전압이 0[V]부터 서서히 증가하면서 스위치 S_1 의 ZVS 턴-오프 조건을 만족한다. 이 때 공진 주파수 ω_0 및 특성 임피던스 Z_0 는 식 (2)와 같으며, 공진 커패시터 C_{r2} 의 전압은 식 (3)과 같다.

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_r(C_{r1} + C_{r2})}}, Z_0 = \sqrt{\frac{L_r}{C_{r1} + C_{r2}}} \quad (2)$$

$$v_{C_{r2}}(t) = Z_0 \cdot V_{batt_high} \cos\{\omega_0(t - t_1) + \cos^{-1}(\frac{1}{Z_0})\} \quad (3)$$

모드 2는 공진 커패시터 C_{r2} 의 전압이 0[V]가 되는 t_2 까지 지속되며, 스위치 S_2 의 ZVS 턴-온 조건을 만족하기 위한 최소 시간은 식 (4)와 같다.

$$t_2 - t_1 = \frac{\pi}{2\omega_0} - \frac{1}{\omega_0} \cos^{-1}(\frac{1}{Z_0}) \quad (4)$$

모드 3 ($t_2 \leq t < t_3$): 모드 3는 스위치 S_2 에 On 신호가 인가되는 t_2 부터 스위치 S_3 에 On 신호가 인가되는 t_3 까지 지속된다. 이 때 공진 인덕터 전류 i_{Lr} 은 식 (5)와 같이 일정하게 유지된다.

$$i_{Lr}(t) = i_{Lr}(t_1) + \frac{1}{L_r} \int_{t_1}^{t_2} v_{C_{r2}}(t) dt \quad (5)$$

모드 4 ($t_3 \leq t < t_4$): 모드 4는 스위치 S_3 에 On 신호가 인가되는 구간이며, t_3 에서 공진 인덕터 전류 i_{Lr} 이 주 인덕터 전류 i_{L2} 보다 클 때 스위치 S_3 의 ZCS 턴-온 조건을 만족한다.

모드 5 ($t_4 \leq t < t_5$): 공진 인덕터 L_r 와 공진 커패시터 C_{r3} , C_{r4} 가 공진하며, 모드 2의 동작과 유사하다.

모드 6 ($t_5 \leq t < t_6$): 공진 인덕터 전류 i_{Lr} 은 스위치 S_2 , S_4 를 통해 일정하게 흐르며, 모드 3의 동작과 유사하다.

2.3 시뮬레이션 결과

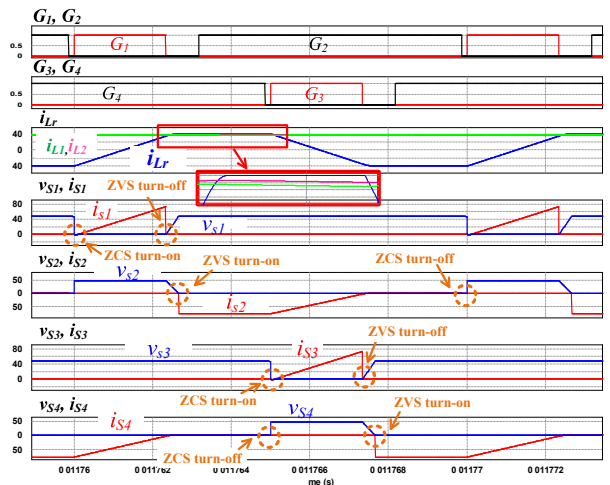


그림 5 PSIM 시뮬레이션 주요 결과 파형

Fig. 5 The key waveforms of PSIM simulation

그림 5는 제안하는 LDC의 시뮬레이션 결과 파형을 나타낸다. 파라미터는 용량 1 [kW]를 기준으로 스위칭 주파수 100 [kHz], 공진 인덕터 1.5 [μH], 공진 커패시터는 300 [nF]으로 설정하였다. 제안하는 LDC의 모든 스위치는 소프트 스위칭 동작을 수행한다.

3. 결 론

본 논문에서는 기존 인터리브드 양방향 컨버터에 공진 인덕터 및 커패시터를 추가한 소프트 스위칭 방식의 인터리브드 양방향 LDC를 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 모든 스위치의 소프트 스위칭 동작을 검증하였으며, 그에 따라 스위칭 손실 저감을 통한 LDC의 효율 증가 및 소형화가 가능하다.

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국 연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업임

참 고 문 헌

- [1] 박규식, "차량용 48V 시스템 기술 개발 동향," KIPE MAGAZINE, 19.4 (2014.08): 43-48.