

결합 인덕터를 이용한 2상 이중 강압형 직류-직류 컨버터

정승용, 차헌녕, 김흥근
경북대학교

Two-phase Double Step-down DC-DC Converter Using Coupled Inductor

Seongyong Jeong, Honnyong Cha, Heung Geun Kim
Kyungpook National University

ABSTRACT

기존 인터리브드 방식의 2상 이중 강압형 직류 직류 컨버터는 비절연 강압형 직류 직류 컨버터로 출력 전류 리플 감소, 이중 강압으로 인한 스위치 전압 스트레스 감소, 인덕터 전류 불평형 문제 해결, 그리고 스위칭 손실 감소 등의 장점으로 대용량 직류 직류 컨버터에 적합하다. 본 논문에서는 기존의 2상 이중 강압형 직류 직류 컨버터에 결합 인덕터를 적용하여 인덕터의 전류 리플을 감소시키고 이를 수치적으로 해석한다. 또한 결합 인덕터의 문제점인 각 상의 인덕터 전류 불평형으로 인한 인덕터 포화현상에 대하여 실험을 통해 확인 한다.

1. 서론

최근 직류 직류 컨버터는 빠른 응답 속도와 출력 전류 및 인덕터 전류 리플의 감소, 그리고 출력 LC 필터의 소형화에 노력하고 있다. 일반적으로 컨버터 응답 속도는 출력 LC 필터값의 감소에 의해 개선되지만, 인덕터의 값이 작을수록 인덕터 전류 리플이 증가하게 되는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 인터리브드 방식의 2상 강압형 직류 직류 컨버터를 적용하게 되면, 각 상의 인덕터 전류의 합이 출력 전류가 되어 출력 전류 리플이 감소하게 되므로 출력 LC 필터를 소형화 할 수 있고, 빠른 응답 속도를 얻을 수 있다.^[1] 하지만 회로 내에 존재하는 소자(스위치, 인덕터, 등등)들의 비대칭으로 인해 각 상 인덕터 전류의 불평형이 발생할 수 있고, 이를 해결하기 위해 각 상의 인덕터 전류를 전류센서를 통해 각각 제어해줘야 하는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 2상 이중 강압형 직류 직류 컨버터가 최근에 소개되었으며, 추가된 커패시터에 의해 인덕터 전류에 대한 제어 없이도 각 상의 인덕터 전류가 평형을 이루고, 기존 인터리브드 방식의 4상 강압형 직류 직류 컨버터와 동일한 출력 전류 리플을 얻을 수 있는 장점이 있다.^[2] 본 논문에서는 기존 2상 이중 강압형 직류 직류 컨버터에 결합 인덕터를 적용하여 결합 인덕터의 이용률을 최대화하면서 결합 인덕터에서의 포화 문제를 해결하고자 한다.

2. 제안된 2상 이중 강압형 직류-직류 컨버터

2.1 결합 인덕터를 이용한 2상 이중 강압형 직류-직류 컨버터

그림 1은 제안한 결합 인덕터를 이용한 2상 이중 강압형 직

류 직류 컨버터를 나타낸다.

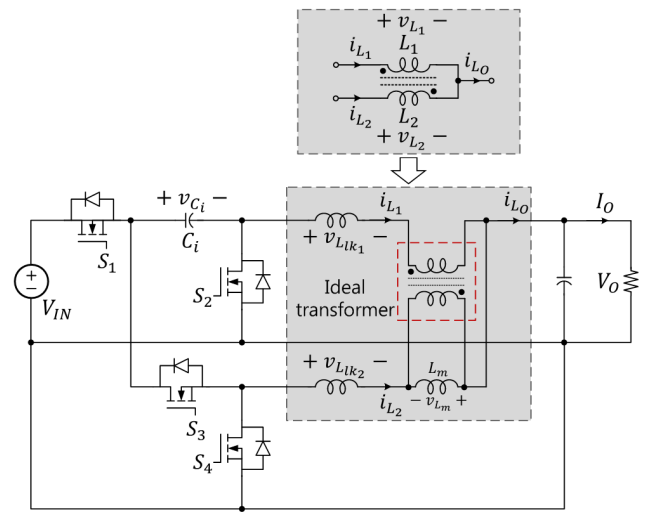


그림 1 제안한 결합 인덕터를 이용한 2상 이중 강압형 직류-직류 컨버터

스위치 $S_1 \sim S_4$ 의 게이트 신호는 기존 2상 인터리브드 방식에서와 동일하게 생성된다. 따라서, 스위치 (S_1, S_2), (S_3, S_4)는 서로 상보적으로 동작하며 (S_1, S_3)는 180° 의 위상차를 갖는다. 그림 1과 같이 기존 2상 강압형 직류 직류 컨버터와 2상 이중 강압형 직류 직류 컨버터의 차이점은 커패시터 C_i 가 추가되었고, 이로 인해 각 상의 인덕터 전류는 자동으로 평형을 이루게 되며, 인덕터 전류 불평형으로 인한 인덕터의 포화를 방지하여 결합 인덕터를 보다 효과적으로 사용할 수 있다. 그리고 커패시터 C_i 로 인하여 출력 전압은 이중 강압 되고 스위치 전압 스트레스는 감소하게 되어 스위칭 손실이 감소한다.

그림 2는 게이트 신호에 따른 제안한 컨버터의 주요 동작과형을 나타낸다. 스위치 S_3 에 인가되는 최대 전압(v_{S_3})은 입력전압과 동일하나 턴 온 되기 이전의 전압은 입력전압의 절반이 인가되고, 나머지 스위치에 인가되는 전압은 입력전압의 절반이 인가되므로 기존 인터리브드 방식 2상 강압형 직류 직류 컨버터에 비해 스위칭 손실이 많이 감소하게 된다.

2.2 결합 인덕터에 의한 인덕터 전류 리플의 감소

기존 인터리브드 방식 2상 이중 강압형 직류 직류 컨버터는 출력 전류의 리플은 줄일 수 있었지만, 인덕터 자체 전류 리플

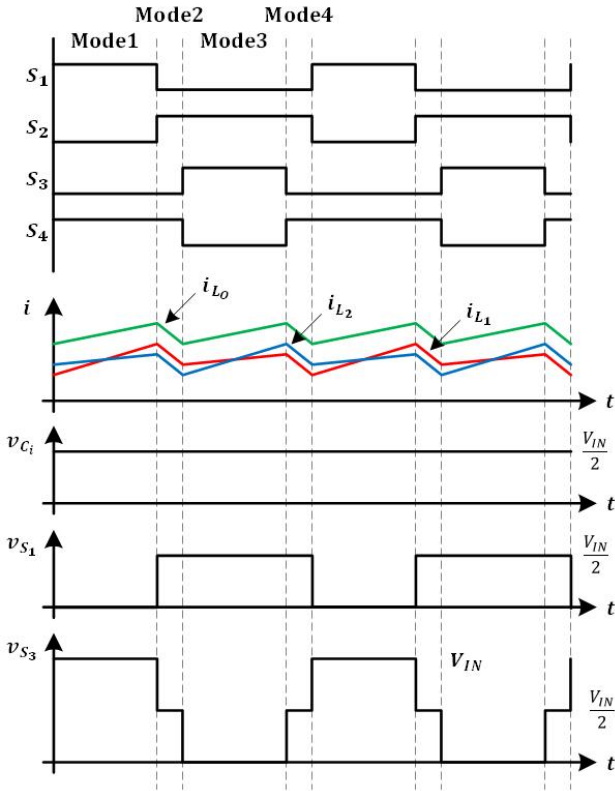


그림 2 게이트 신호에 따른 제안한 컨버터의 주요 동작 파형

은 줄일 수 없다. 본 논문에서 제안한 바와 같이 결합 인덕터를 이용하여 인덕터 전류 리플을 줄이면, 인덕터의 크기를 줄일 수 있어 직류 직류 컨버터의 빠른 응답 속도를 얻을 수 있다. 표 1은 결합 인덕터를 이용한 제안한 컨버터에 대한 인덕터 전류 리플과 출력 전류 리플을 나타낸다.

표 1 결합 인덕터를 이용한 2상 이중 강압형 직류-직류 컨버터의 인덕터 전류 리플 및 출력 전류 리플 ($k < 1, D < 0.5$)

	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4
$\frac{d}{dt} i_{L_a}$	$\frac{V_O}{L_{lk}} \frac{(1-D-kD)}{(k+1)D}$	$-\frac{V_O}{L_{lk}}$	$\frac{V_O}{L_{lk}} \frac{(k-D-kD)}{(k+1)D}$	$-\frac{V_O}{L_{lk}}$
$\frac{d}{dt} i_{L_b}$	$\frac{V_O}{L_{lk}} \frac{(k-D-kD)}{(k+1)D}$	$-\frac{V_O}{L_{lk}}$	$\frac{V_O}{L_{lk}} \frac{(1-D-kD)}{(k+1)D}$	$-\frac{V_O}{L_{lk}}$
$\frac{d}{dt} i_{L_o}$	$\frac{V_O}{L_{lk}} \frac{(1-2D)}{D}$	$\frac{V_O}{L_{lk}} \frac{(1-2D)}{0.5-D}$	$\frac{V_O}{L_{lk}} \frac{(1-2D)}{D}$	$\frac{V_O}{L_{lk}} \frac{(1-2D)}{0.5-D}$

Mode 1에서 dt 는 DT_S 와 같고, 이를 인덕터와 출력 전류 리플의 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\Delta i_L = \frac{V_O}{L_{lk}} \left(\frac{1-D-kD}{k+1} \right) T_S \quad (1)$$

$$\Delta i_{L_o} = \frac{V_O}{L_{lk}} (1-2D) T_S \quad (2)$$

식 (1)과 같이 인덕터 전류 리플은 결합계수(k)와 밀접한 관계가 있고 k 가 클수록 인덕터 전류 리플은 감소한다. 반면에 출력 전류 리플은 식 (2)와 같이 k 와 관계가 없다. 또한, 기존 회로 방식의 결합 인덕터는 인덕터 전류의 불평형에 따른 인덕터 포화현상이 발생할 수 있다.

나 본 논문에서 제안한 2상 이중 강압형 직류 직류 컨버터는 구조적으로 인덕터 전류의 평형을 맞춰 결합 인덕터의 포화를 방지할 수 있다. 이를 실험을 통하여 그림 3과 같이 검증 하였고, 실험조건은 시비율 $D1=0.42, D2=0.45$, 입력전압은 350V, 출력 전력은 1.1kW로 하였다. 그림에서 보듯이 각 상의 인덕터 전류에 불평형이 있어도 결합 인덕터는 포화되지 않음을 알 수 있다.

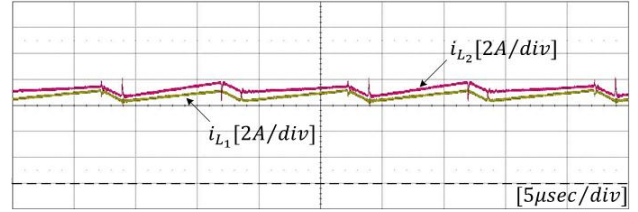


그림 3 결합 인덕터의 인덕터 전류 리플 불평형에 따른 인덕터 포화 시험

3. 결론

본 논문에서는 기존 인터리브드 방식 2상 이중 강압형 직류 직류 컨버터에 결합 인덕터를 적용함으로써, 인덕터 전류 리플이 감소된다. 또한 결합 인덕터의 단점인 인덕터 전류의 불평형으로 인한 포화 현상을 막을 수 있어 기존 인터리브드 방식 2상 이중 강압형 직류 직류 컨버터에 결합 인덕터의 적용은 매우 안정적이다. 이러한 장점은 1.1kW 시제품을 제작하여 실험을 통해 그 타당성을 검증하였다.

본 논문에서 제안한 결합 인덕터를 이용한 2상 이중 강압형 직류 직류 컨버터는 이중 강압으로 각 스위치에 전압 스트레스를 줄이고, 인덕터 전류 리플 및 출력 전류 리플을 줄여, 전압 변환 비율이 높은 대용량 비절연 강압형 직류 직류 컨버터와 빠른 응답 속도를 요하는 직류 직류 컨버터에 적합하다.

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA 2014 H0401 14 1004)

참고 문헌

- [1] Jong Pil Lee, Honnyong Cha, Dongsul Shin, Kyoung Jun Lee, Dong Wook Yoo, and Ji Yoon Yoo, "Analysis and Design of Coupled Inductors for Two Phase Interleaved DC DC Converters", Journal of Power Electronics, Vol. 13, pp. 339-348, No. 3, May 2013.
- [2] K.Nishijima, K.Harada, T.Nakano, T.Nabeshima, and T.Sato, "Analysis of Double Step Down Two Phase Buck Converter for VRM" Inteltec'05, CD ROM, Sep 2005.