

탭리액터를 이용한 고승압 양방향 DC/DC 컨버터

한창우, 최명수, 김태웅, 최재호*
경상대학교 *충북대학교

High Ratio Boost Bidirectional Converter with Tap Reactor

Chang-Woo Han, Myeong-Soo Choi, Tae-Woong Kim, Jaeho Choi*
Gyeongsang National University *Chungbuk National University

ABSTRACT

제안하는 고승압 양방향 DC/DC 컨버터는 직류 탭리액터를 이용하여 인터리브드 형태와 유사한 승압형 컨버터로써 변압기 턴비를 작게 할 수 있어 고승압에 유리하다. 연료전지 응용분야에 적용가능하며 양방향제어가 가능하기 때문에 전기자동차와 같은 견인구동 응용분야에도 적용할 수 있는 장점이 있다.

1. 서론

화석연료에 대한 이슈화와 새로운 에너지 필요성이 제기되고 있는 현대사회에서 지속적으로 친환경 신재생에너지에 대한 공급 필요성이 증대되고 있다. 최근 추세로는 태양광발전, 연료전지발전, 풍력발전으로 대표되며 풍력발전을 제외하고는 대부분 낮은 전압출력특성을 가진다. 이와 같은 에너지를 상용 시스템에 적용하기 위해서는 높은 전압 전력변환이 요구된다.

수소연료전지 혹은 배터리로 대변되는 친환경 전기자동차 분야에 적용되는 전동기에는 효율과 주행연비를 향상하기 위하여 배터리전압은 낮추고 인버터의 입력 직류링크전압을 높게 설정하여 사용해야 한다.^[1] 이에 높은 승압비를 가지며 회생제동에 따른 에너지충전을 위한 DC/DC 컨버터의 연구가 진행되고 있다. 그러나 고승압을 위해서는 다단 승압에 의해 많은 스위칭소자가 필요하거나 인덕터가 커져서 전체적인 컨버터시스템이 커지는 단점을 가진다.

본 논문에서는 직류 탭리액터를 이용하여 높은 전력시스템에 적용 가능한 고승압 양방향 컨버터를 제안하고 이에 대한 유효성을 시뮬레이션 해석을 통해 검증한다.

2. 고승압 양방향 컨버터의 토폴로지 제안

2.1 고승압 양방향 컨버터의 토폴로지

제안하는 직류 탭리액터를 이용한 고승압 양방향 컨버터를 그림 1에 보여준다. 입력은 배터리로 연결되어 있으며 이에 대한 배터리의 등가회로는 배터리 내부저항과 커패시턴스로 간략화 된다.^[2] 그리고 고승압 양방향 전류흐름을 가질 수 있는 DC/DC 컨버터는 직류 탭리액터(N_1, N_2), 스위치(S_1, S_{21}, S_{22}), 커패시터(C_1, C_2, C_{dc})와 부하(R_{load})로 구성된다.

2.2 승압모드 동작

그림 2(a)는 제안한 컨버터의 승압모드의 동작 및 에너지흐름을 보여준다. 승압모드 동작시에는 스위치 S_1 을 이용하여 기본 승압형 컨버터의 동작원리와 유사하며 스위치가 턴온일 때

직류리액터에 에너지를 축적하고 스위치가 턴오프일 때 축적된 에너지 및 전압으로부터의 에너지가 부하에 공급된다.^[3] 직류 탭리액터를 통해 플라이백 컨버터와 같이 2차측에도 전압이 유기되며 커패시터 C_1 뿐 아니라 C_2 에도 충전된다. 1차측은 전원 전압과 리액터 축적 에너지가 합해져서 커패시터 C_1 에 충전되며, 2차측은 1차측에서 유도된 에너지로만 커패시터 C_2 에 충전되어 최종적으로 높은 전압으로 승압된 전압을 공급하게 된다. 여기서 출력측 커패시터 C_1 및 C_2 에는 입력전압만큼 차이를 가지고 충전된다.

그림 2(b)는 승압모드로 동작시의 제어기 구성도를 나타내며 출력전압을 제어하기 위해 안쪽루프로써 입력전류를 제어하도록 구성한다.

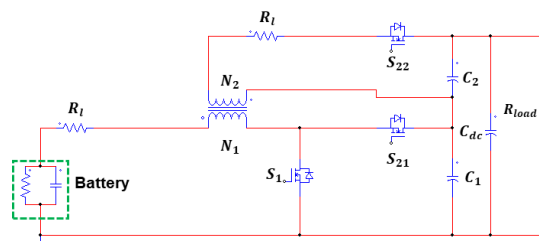
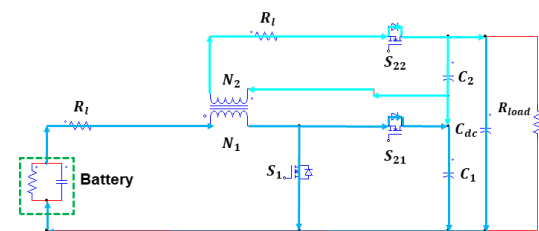
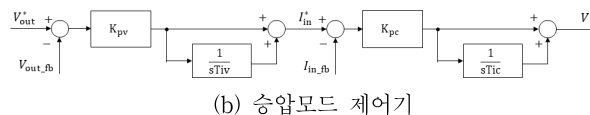


그림 1. 제안한 고승압 양방향 컨버터



(a) 승압모드 동작시의 에너지흐름



(b) 승압모드 제어기

그림 2. 제안 토폴로지의 승압모드

본 토폴로지의 입출력관계식은 1차측은 식(1)의 부스트컨버터 입출력관계식으로 나타내며, 2차측은 식(2)의 플라이백 컨버터의 입출력관계식으로 나타낸다. 식(1)과 식(2)를 합하여 최종 입출력관계식을 유도한다.^[4]

$$V_{C1} = \frac{V_{in}}{1-d} \quad (1)$$

$$V_{C2} = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{d}{1-d} \cdot V_{in} \quad (2)$$

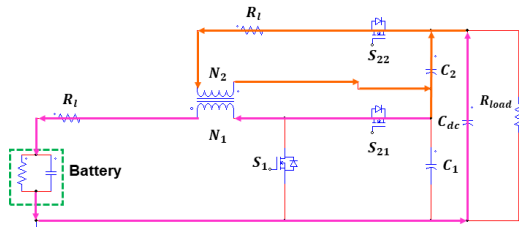
$$V_{out} = \frac{1+N_2/N_1 \cdot d}{1-d} \times V_{in} \quad (3)$$

여기서 V_{in} : 입력전압, V_{out} : 출력전압, d : 듀티비
 N_2/N_1 : 권선비, V_{C1} : 커패시터 C_1 전압, V_{C2} : 커패시터 C_2 전압

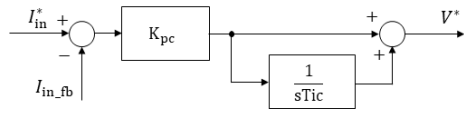
2.3 회생모드 동작

그림 3(a)는 제안한 컨버터의 회생모드의 동작 및 에너지흐름을 보여준다. 회생모드 동작시에는 스위치 S_{21} 과 S_{22} 를 이용하여 스위칭주파수와 위상차는 동일하게 하여 강압형 컨버터와 유사하게 동작한다.

그림 3(b)는 회생모드로 동작시의 제어기 구성도를 보여주며 배터리로 일정한 전류이하(배터리 과전류 보호)로 에너지를 회생시키기 위해서는 정전류 제어로 배터리로 충전해야 한다.



(a) 강압모드 동작시의 에너지흐름



(b) 강압모드 제어기

그림 3. 제안 토폴로지의 강압모드

3. 시뮬레이션 해석

본 논문에서 제안한 고승압 양방향 컨버터의 유효성을 검증하기 위하여 6kW급 시스템을 설계 구성하였으며 시뮬레이션 사양은 표 1에 보여주며, PSIM에 의해 시뮬레이션 해석을 수행하였다.

표 1. 6kW급 고승압 양방향 컨버터 설계사양

Vin	48V	C1	220uF
Vout	480V	C2	220uF
Lm	75uH	Cdc	220uF
Rload	39ohm	N1:N2	1:1

그림 4는 승압모드 동작시 입력전압 48V에서 480V로 10배 승압시켰을 경우 출력측 C_1 , C_2 , 그리고 C_{dc} 에 충전되는 전압을 보여주며, 각각의 출력전압은 입력전압만큼 차이가 있음을 확인할 수 있다.

그림 5는 승압모드 동작시 입력전압 48V에서 정격 출력전압 480V로 승압시킨 후 무부하에서 50% 부하, 그리고 100% 부하로 스텝형태로 변화시켰을 때 출력전압 응답특성을 보여준다.

회생모드 동작시 회생전류를 10A이하로 설정하여 정전류제어를 통해 배터리 과전류충전을 방지하도록 하였으며 이에 대

한 유효성을 그림 6에 보여준다.

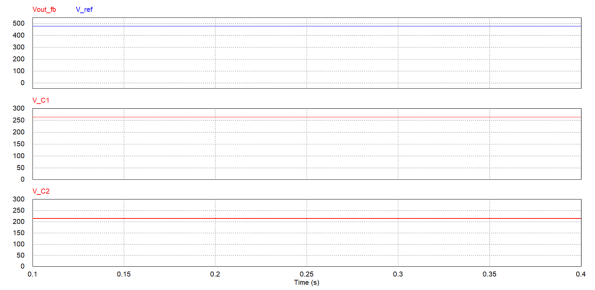


그림 4. 승압모드 동작시 전압파형; $V_{out}=480V$, $V_{c1}= 264V$, $V_{c2}=215V$

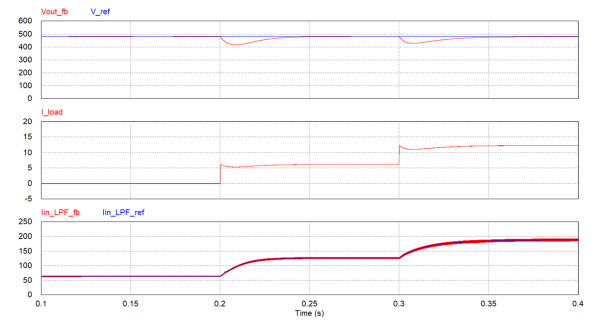


그림 5. 부하 변동시 출력전압 응답특성; 0% -> 50% -> 100%

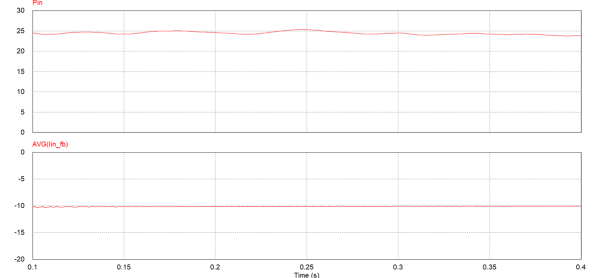


그림 6. 회생모드 동작시의 출력파형 ($I_{ref} = 10A$)

4. 결론

본 논문에서는 고승압 양방향 제어가 가능한 컨버터를 제안하였다. 승압모드로 동작 시, 부하의 설계에 따라 승압비를 높일 수 있음을 확인하였으며, 승압모드와 회생모드에서의 시스템 동작특성을 시뮬레이션 해석을 통해 확인하였다.

이 논문은 대덕연구개발특구지원본부의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

참고 문헌

- [1] 오세철, 박준성, 권민호, 최세완, “친환경 자동차 HDC를 위한 고승압 소프트스위칭 양방향 컨버터,” 전력전자학회논문지 vol.17, no.4, pp.322-329, 2012
- [2] 임재관, 임덕영, 최재호, 권경민, 정교범, “리튬배터리 충전전 특성을 고려한 양방향 DC/DC 컨버터 설계,” 전력전자학회논문집 pp. 475-476, 2010
- [3] 김태웅, 최재호, “전력전자회로,” 내하출판사, pp. 265-277, 2005,
- [4] K.C. Tesng and T.J. Liang, “Novel High-efficiency Step-up Converter,” IEE Proc.-Electr. Power Appl., vol.151, no.2, pp.182-190, 2004