연료전지용 동기식 부스트 컨버터의 역전류 제어방식

김미지, 신민호, 최성촌, 김지환, 정용채*, 원충연
성균관대학교, 남서울대학교*

Reverse Current Control Method of Synchronous Boost Converter for Fuel Cell

Mi Ji Kim, Min Ho Shin, Seong Chon Choi, Ji Hwan Kim, Yong Chae Jung*, Chung Yuen Won
Sungkyunkwan University, Namseoul University*

ABSTRACT

This paper proposes the reverse current control method of synchronous boost converter for fuel cell. In order to implement a high efficiency charger with the synchronous boost converter, using MOSFETs instead of diodes is essential. Using the conventional boosting method, the reverse current is generated during transient state due to the nature of fuel cell which needs soft starting depending on the amount of hydrogen. By using PWM control method, fuel cell can be protected from being damaged by reverse current, so synchronous boosting method can be applied to charger applications. The experimental results are shown to verify that the implementation of high efficiency converter is possible.

1. 서 론

수소 연료전지는 유해한 물질을 배출하지 않기 때문에 설치 장소에 대한 제약을 받지 않고, 소음이 없다는 장점을 가지고 있다. 또한 수소 연료전지는 물과 수증기가 유일한 배출물이기 때문에 이산화탄소 배출 규제를 해결할 수 있고, 매연이 없다는 특징으로 인해 환기가 불가능한 실내에서 기존의 디젤 혹은 석유 기반의 발전기를 대체하여 사용할 수 있다. 하지만 연료전지의 느린 응답속도(5A/s)로 인해 2차전지로의 충전이 요구되며, 고가의 연료전지 스택의 용량을 감소시키고 최대사용전력을 줄여 내구성 및 신뢰성을 보장하기 위해서는 고효율 컨버터의 사용이 필수적이다.

고효율을 컨버터 구성을 위해 기존 부스트 컨버터의 다이오드를 MOSFET으로 대체하여 동기식으로 사용한다. 하지만 연료전지의 느린 응답속도로 인해 초기 동작 시 PWM제어를 이용하여 소프트 스타트를 하는데 이때 MOSFET의 특성상 배터리에서 연료전지로 흐르는 역전류 때문에 연료전지를 입력으로 하는 충전기 어플리케이션에 적용시키기에는 문제점이 있다.

본 논문에서는 배터리가 포함된 연료전지 하이브리드 시스템에서 연료전지의 저 전압, 고 전류 에너지를 배터리에 충전시키는 고효율 충전기의 동기식 부스트 컨버터의 역전류 제어 기법을 제안하고 실험을 통하여 검증하였다.

2. 동기식 부스트 컨버터의 역전류 제어

2.1 시스템 구성

시스템 구성은 연료전지와 2차 전지(Li po BAT) 그리고 부스트 컨버터로 구성되어있다. 사용된 컨버터는 연료전지의 전압(30~35V)을 2차 전지 전압(40~80V)으로 승압하여 충전하는 컨버터로 동기식 부스트 방식으로 구현하였다.

그림 1은 동기식 부스트 컨버터의 회로구성도이다. 입력전류(0~70A)를 배터리의 SOC(State of Charge)에 따라 제어하여 2차 전지에 CC충전을 한다. 2.5[kW]의 용량을 가지며, 안정성을 높이기 위해 전류 리플이 ±3%이내가 되도록 스위칭 주파수를 25kHz로 설계하였다. 본 논문에서 제안하는 동기식 부스트 컨버터는 회로구조가 간단하여 소형화에 적합하고 기존 다이오드 방식보다 2%이상 효율이 개선되었다.[1]

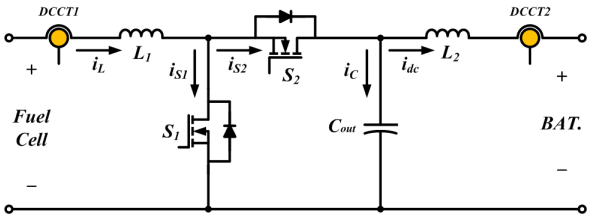

그림 1 동기식 부스트 컨버터의 회로구성도
Fig. 1 Circuit configuration of synchronous boost converter

2.2 역전류 제어 기법

기존의 동기식 부스트 컨버터의 회로에서는 초기 동작 시 입력전압이 출력전압보다 낮다. 그림 2의 기존 동기식 부스트 컨버터에서는 MOSFET의 특성상 양방향 전류가 흐르므로 역전류가 발생한다. IGBT를 사용하면 역전류를 방지할 수 있지만 고효율 컨버터를 구현하기 위해서는 MOSFET의 사용이 필수적이다. 이 문제를 해결하기 위해 그림 1에서처럼 초기 동

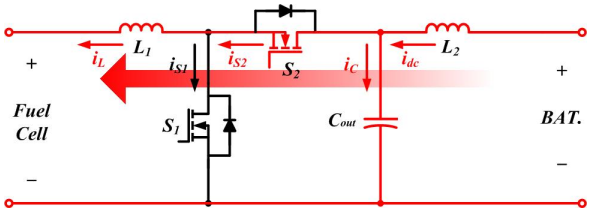

그림 2 기존 동기식 부스트 컨버터에서의 역전류 발생
Fig. 2 Reverse current occurs in synchronous boost converter

작시 전류센서(DCCT2)의 전류를 검출하여 일정 값 이상의 순방향 전류가 흐른 뒤 동기 스위치(S2)를 온시키는 방법과 일정 PWM Duty 이상 시에 동기 스위치(S2)를 동작시켜 역전류를 제어하는 기법을 적용하였다.

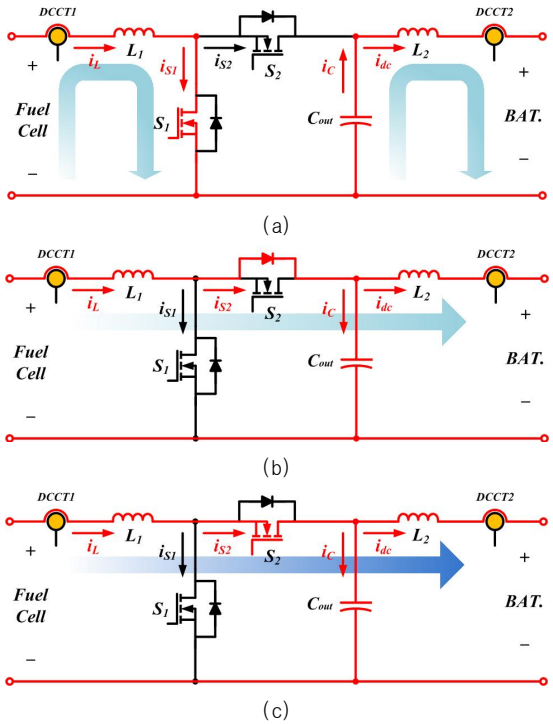

그림 3 역전류 제어 방식의 동작모드
Fig. 3 Operating mode of reverse current control method

그림 3은 각 모드에 따른 전류의 흐름이다. 그림 3(a)는 부스트 스위치(S1)가 온되는 구간[DT]이다. 이 구간에서 제안된 컨버터는 S1의 PWM 듀티 비가 승압 비에 도달하지 못하여 DCM동작을 한다. 이때 인덕터(L1)에 양의 전압이 걸리므로 흐르는 전류는 증가한다. 그림 3(b)는 부스트 스위치(S1)가 오프되고 동기식 스위치의 기생 다이오드가 온되는 구간[(1 D)T]이다. 인덕터(L1)에 음의 전압이 걸리므로 전류는 하강한다. 마찬가지로 초기에는 DCM구간이므로 역전류가 발생할 수 있기 때문에 동기식 스위치(S2)를 오프시키고 기생 다이오드를 사용함으로서 역전류를 방지한다. 그림 3(c)에서는 DCCT2의 전류값이 5A이상일 때 S2를 소프트 스타트로 (1 D+dead time)T가 될 때까지 온해준다. 반대로 기준치 이하 시 오프하여 역 전류로부터 연료전지를 보호해준다.

2.3 시뮬레이션 및 실험결과

그림 4는 역전류 제어 유무에 따른 인덕터(L1)의 전류 시뮬레이션이다. 그림 4(a)는 동기식 FET(S2)를 제어하지 않고 기존의 동기식 부스트 컨버터 방식으로 동작시켰을 때 인덕터(L1)의 전류파형을 나타냈다. 초기에 소프트 스타트 시 입력측 전압이 2차 전지 전압보다 낮기 때문에 역전류가 발생하게 된다. 실제 실험 시에는 역전류가 발생하게 되면 연료전지의 파손이 발생한다. 그림 4(b)는 동기식 FET(S2)를 제어했을 때 인덕터(L1)의 전류파형이다. 역전류 제어 방식을 적용하여 역전류가 제어됨을 확인했다.

그림 5는 전류가 제어되는 것을 실험을 통해 검증하였다. 부스트 FET(S1)의 PWM 제어를 통해 소프트 스타트를 시켜줌으로써 연료전지의 느린 반응에 의한 연료전지 손상을 방지했다. 일정 듀티 이상 시 또는 DCCT2에서 센싱되는 전류 값이 지령 값(5A) 이상일 시에 동기식 FET(S2)가 작동한다.

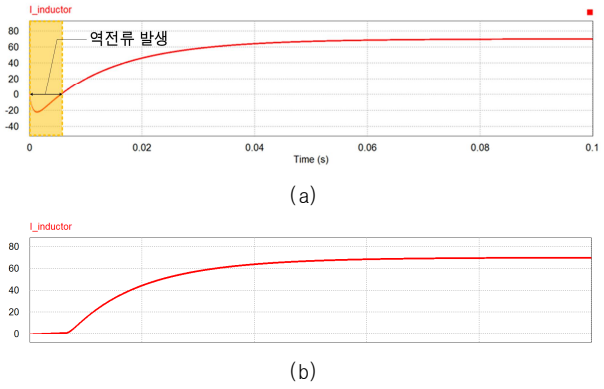

그림 4 역전류 제어 유무에 따른 인덕터(L1)의 전류 시뮬레이션
Fig. 4 Current of inductor(L1) according to the presence of reverse current control

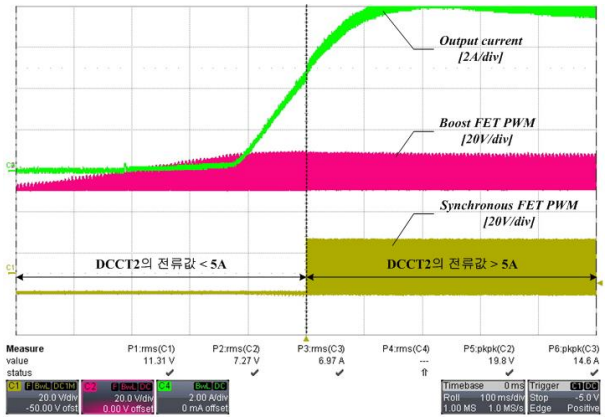

그림 5역전류 제어 실험파형
Fig. 5 Experimental results of the proposed converter

3. 결론

본 논문에서는 동기식 부스트 컨버터의 역전류 제어방식을 제안하였다. 기존 동기식 부스트 컨버터는 초기 DCM 구간에서 상대적으로 높은 배터리에서 낮은 연료전지로 역전류가 유입되는 문제로 인해 배터리를 이용하는 연료전지 충전 시스템에 적용시키기 어렵다. 제안된 역전류 제어 방식은 초기 역전류를 제거를 통해 연료전지 배터리 충전 시스템의 안정성을 확보하였다. 시뮬레이션과 실험을 통해 역전류의 억제를 확인하여 제안된 기법의 타당성을 증명하였다.

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2011 0015584)

참 고 문 헌

[1] 신민호, 정두용, 박세린, 원충연, “1.5kW급 독립형 연료전지 하이브리드시스템 전력변환장치”, 전력전자학회 추계학술대회 논문집 2011.11, pp. 20 21