

Mode Boundary Detector를 사용한 연료전지용 동기식 부스트 컨버터의 역전류 제어 기법

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

Synchronous Boost Converter Control Method for Fuel Cell to Prevent Reverse Current with Mode Boundary Detector

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

ABSTRACT

본 논문에서는 연료전지를 사용하여 2차 전지를 충전시키는 동기식 부스트 컨버터를 제어하는 방식을 제안한다. 고효율을 위한 동기식 부스트 컨버터는 기존의 부스트 컨버터의 다이오드 대신 MOSFET을 사용한다. 이때 연료전지의 전압이 배터리의 전압보다 낮기 때문에 양방향 소자인 MOSFET의 특성상 DCM구간에서 역전류가 발생한다. 연료전지의 긴 기동시간으로 인해 초기 동작 시 소프트 스타트가 필요한데 이때 역전류가 발생할 수 있는 DCM구간이 나타난다. 시스템 제어를 위해 사용된 mode boundary detector은 CCM과 DCM을 구분해주어 컨버터를 제어한다. CCM구간에서는 동기식으로 부스트 컨버터가 동작되고 DCM구간에서는 기존의 다이오드를 사용하는 방식으로 역전류를 방지한다. 시뮬레이션을 통해 논문의 타당성을 증명하였다.

1. 서론

현재 주요 에너지원인 석유 등 자원의 고갈뿐만 아니라 환경오염문제로 친환경적인 대체에너지가 요구되고 있다. 이러한 대체에너지로 최근에 연료전지가 주목받고 있다. 특히 PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)은 소형화가 가능하며 저온에서 빠르게 시동할 수 있어 그 응용범위가 넓다.

그러나 연료전지는 부하의 갑작스러운 변화에 대응하기 어려운 과도현상을 보이기 때문에 2차 전지로의 충전이 요구된다. 한편, 대전류 저전압의 특성을 가진 연료전지는 항상 승압형 컨버터와 연결되어야 한다. 또한 최대 사용 전력을 줄이고 연료전지의 스택 용량을 감소시키기 위해서는 고효율 컨버터를 사용해야 한다. 고효율의 승압형 컨버터의 구성은 기존의 다이오드 방식을 사용한 부스트 컨버터에서 다이오드를 MOSFET으로 대체한 동기식 부스트 컨버터로 전환함으로써 달성할 수 있다. 이때 연료전지의 긴 기동시간으로 인해 초기 동작 시 소프트 스타트가 필요한데, 연료전지로 2차 전지를 충전시킬 때 MOSFET의 특성상 역전류가 흐를 수 있는 문제점이 있다.

본 논문에서는 연료전지로 배터리를 충전하는 동기식 부스트 컨버터에서 modeboundary detector를 사용하여 배터리에서 연료전지로 흐르는 역전류를 방지하는 기법을 제안한다.

2. 시스템 구성

시스템은 연료전지(PEMFC)와 2차 전지(Li Po) 그리고 동기식 부스트 컨버터로 구성되어있으며 배터리는 R C 직렬회로로 모델화 되었다. 또한 출력단의 추가적인 인덕터는 배터리의 출력 리플을 감쇄시켜 배터리의 수명을 증가시킨다. 그림 1에 회로 구성도를 나타냈다. 연료전지로 배터리를 충전할 때 부스트 컨버터의 출력전압이 입력전압보다 높기 때문에 동기식 컨버터 사용 시 양방향 소자인 MOSFET의 특성상 역전류가 흐르는 구간이 발생한다. 역전류에 의한 연료전지의 파손을 막기 위해 동기식 스위치 S2가 제어되어야 한다. 역전류는 컨버터가 전류 불연속 모드(Discontinuous Conduction Mode)에서 동작할 때 발생한다. 그러므로 본 논문에서는 mode boundary detector을 이용하여 CCM (Continuous Conduction Mode)에서는 S2를 동기식으로 동작시키고 DCM에서는 S2를 오프시켜 MOSFET의 기생다이오드를 사용하여 역전류를 제어한다.

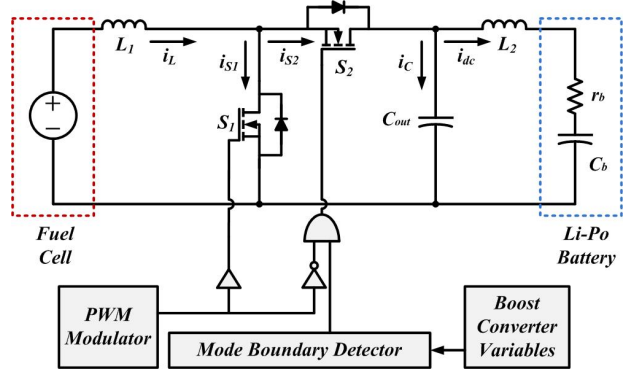


그림 1 동기식 부스트 컨버터의 회로도 및 시스템 제어 블록도
Fig. 1 Circuit diagram and block diagram of system controller of the synchronous boost converter

3. Mode Boundary Detector를 이용한 동기식 부스트 컨버터의 역전류 제어

부스트 컨버터의 경우 평균 전류량과 전류 변화량의 크기를 비교하여 CCM과 DCM을 구분할 수 있다. 듀티비에 관한 항인 K_{crit} 와 주기, 인덕턴스 및 출력단의 저항 값에 따라 결정되는 K 의 비교를 통해 CCM과 DCM 혹은 임계경계상태 (Boundary Conduction Mode)가 결정된다.^[1]

$$K = \frac{2L}{RT_s} \text{ and } K_{crit} = DD'^2 \quad (1)$$

$$K > K_{crit} \text{ for CCM} \quad (2)$$

$$K < K_{crit} \text{ for DCM}$$

제안된 충전 시스템에서는 mode boundary detector에 의해 CCM과 DCM을 구분할 수 있다. 그림 1에 mode boundary detector가 제안되었다. Mode boundary detector에 의해 결정된 출력값 k_{out} 으로 동기식 스위치 S2를 제어한다.

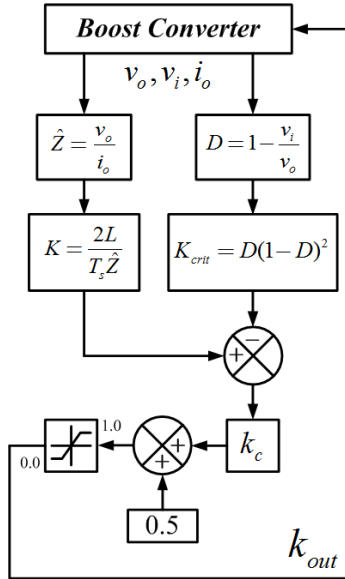


그림 2 Mode boundary detector
Fig. 2 Mode boundary detector

Mode boundary detector에서 K값은 배터리 임피던스 Z에 의해서 결정되는데 이때 Z는 출력단의 전압, 전류를 가지고 얻을 수 있다. 그러므로 식 (1)의 R을 Z로 대체한다. 앞서 설명했듯이 부스트 컨버터에서 K가 Kcrit보다 크면 CCM, K가 Kcrit보다 작으면 DCM 그리고 K가 Kcrit와 같으면 임계경계조건이라고 하였다. 임피던스 Z에 의해 결정된 K와 Kcrit의 에러가 k_c 과 곱해진 값이 동작모드를 결정하게 된다. 이때 k_c 은 비례에러 증폭기이다. k_c 을 곱하여 나온 결과 값 k_{out} 은 시스템의 동작모드를 결정해주는 역할을 하기 때문에 CCM일 경우 k_{out} 을 1로 DCM일 경우 k_{out} 을 0으로 지정해주어 원하는 모드에서 동작하도록 만들어주어야 한다. 임계경계조건일 때는 k_{out} 값을 0.5에 가깝게 해주어야하므로 k_c 의 출력값에 0.5를 더해야 한다. 리미터를 이용하여 k_{out} 을 0과 1사이로 제한하여 CCM과 DCM출력이 만들어 질 수 있도록 한다. k_{out} 이 0과 1사이라면 동작조건범위에 따라 동작모드가 결정된다.

시스템 제어 시 PWM Modulator에서 나온 PWM은 S1을 동작시키며 D의 듀티비를 가지게 된다. 그리고 제안된 부스트 컨버터를 동기식으로 작동시키기 위해서 (1-D)의 듀티비를 가진 PWM을 동기식 스위치 S2에 공급한다. 이때 mode boundary detector에 의해 DCM구간임이 판정되면 동기식 스위치 S2를 오프시킨다.

다시 말해서, k_{out} 이 1인 경우 CCM으로서 동기식 스위치S2를 온시켜주고 k_{out} 이 0인 경우는 DCM이므로 S2를 오프시키고 기생다이오드를 사용하여 역전류를 제어한다.

4. 시뮬레이션 결과

제안하는 제어방식의 타당성을 검증하기 위하여 PSIM 기반의 시뮬레이션을 수행하였다. 연료전지의 전압은 35V이며 소프트 스타트 이후 최종 전류는 70A이다. K와 Kcrit를 얻기 위해 측정된 신호들의 노이즈 때문에 CCM과 DCM사이에서 변동이 일어날 수 있다. 그러므로 k_{out} 의 오차를 감안하여 시뮬레이션 한다. 그림 3은 역전류 제어 유무에 따른 인덕터(L1)의 전류와 mode boundary detector의 출력 값인 k_{out} 을 나타낸다. 그림 3(a)는 연료전지 기동 초기구간에서 동기식 스위치S2를 제어하지 않고 동작시켰을 때의 전류파형이다. 소프트 스타트 시 배터리 전압이 연료전지 전압보다 높기 때문에 역전류가 발생한다. 역전류가 발생하는 부분은 DCM구간이기 때문에 k_{out} 이 0이고 전류가 순방향으로 흐를 때는 1이 된다. 그림 3(b)는 동기식 스위치 S2를 제어하였을 때 전류파형이다. Mode boundary detector을 이용한 제어방식으로 역전류가 잘 제어되는 것을 확인할 수 있다. 마찬가지로 역전류가 제어되는 부분의 k_{out} 값이 0이 되어 스위치 S2가 오프되고 역전류가 발생하지 않는 구간에서는 k_{out} 이 1이 되어 스위치 S2가 온된다.

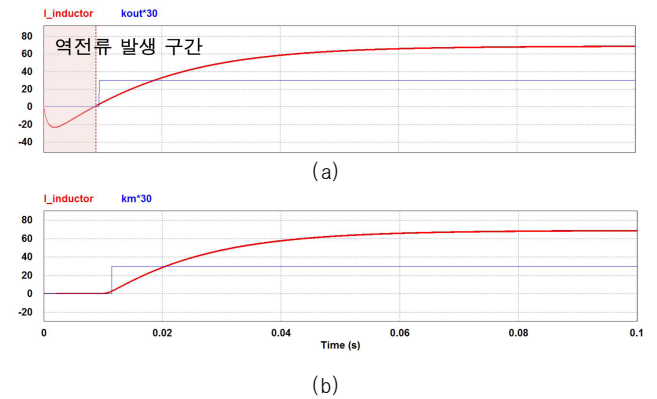


그림 3 전류 제어 유무에 따른 인덕터(L1)의 전류 및 mode boundary detector의 출력 시뮬레이션

Fig. 3 Current of inductor(L1) according to the presence of reverse current control and output of mode boundary detector

5. 결론

본 논문에서는 mode boundary detector을 이용한 동기식 부스트 컨버터의 역전류 제어방식을 제안하였다. 초기 DCM구간에서 연료전지와 배터리의 전압차에 의해서 발생하는 역전류로 인해 연료전지를 동기식으로 충전기 어플리케이션에 적용하는데 어려움이 있다. 제안된 역전류 제어방식은 CCM과 DCM을 구분하는 mode boundary detector을 사용하여 동기식 스위치를 제어함으로써 역전류를 방지하여 연료전지를 역전류로부터 보호하고 시스템의 안정성을 갖추었다. 시뮬레이션을 통해 mode boundary detector의 성능과 역전류가 제어되는 것을 확인하였다.

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임

참고 문헌

[1] R. W. Erickson and D. Maksimović, A Fundamentals of Power Electronics. Norwell, MA: Kluwer, 2001, p.883.