

연료전지-배터리 하이브리드 전력시스템용 양방향 DC-DC 컨버터

이기호, 김종수, 강현수, 이병국
 성균관대학교 정보통신공학부

A Bi-directional DC-DC Converter for Fuel Cell-Battery Hybrid Electric Power Systems

Ki-Ho Lee, Jong-Soo Kim, Hyun-Soo Kang, Byoung-Kuk Lee
 School of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

Abstract - 본 논문에서는 하이브리드 전기 자동차 (Hybrid Electric Vehicle, HEV)의 실제 주행패턴 데이터를 기준으로 하이브리드 전력 시스템용 양방향 DC-DC 컨버터를 설계 하고, 시뮬레이터를 구성한다. HEV의 주행패턴 데이터 중 가·감속 구간 일부를 선택 하여 전기적 부하 변화로 모델링하고, 이를 통해 양방향 DC-DC 컨버터의 모드별 동작을 시뮬레이션 한다.

1. 서 론

최근 환경오염 물질 배출과 화석연료 매장량 제한의 문제로 화석연료를 이용한 동력원을 대체할 다양한 동력원에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다. 이 중 차량용 하이브리드 전력시스템은 1차 에너지원인 연료전지 외에 배터리나 울트라커패시터를 2차 에너지 저장장치로 사용하여 시스템이 복잡하다는 단점을 가지지만 회생 에너지의 재이용, 고효율 시스템 구축의 용이함, 보조전원에 의한 신뢰성 등의 많은 장점이 있어 활발히 연구되고 있다.

하이브리드 전력 시스템이 적용된 HEV는 시스템 특성으로 인하여 보조 에너지 저장장치에 빈번한 충·방전이 발생된다. 때문에 보조 에너지 저장장치와 충·방전 제어를 위한 양방향 DC-DC컨버터의 토폴로지를 선정할 때 이에 대한 고려가 필요하다.

기존의 연구에서는 전압비가 낮은 사용 환경에서 스위치 수를 줄일 수 있는 비절연형의 단상 부스트 토폴로지를 채택하거나 양방향 풀 브리지 컨버터를 사용하여 고밀도 전력, 고효율, 스위칭 손실을 줄이는 영전압 스위칭 (ZVS) 등의 이점을 얻을 수 있는 방법에 대해 논하였다. 이런 연구들에서 채택된 토폴로지는 각 사용 환경에 적합하게 선정된 토폴로지이며 HEV에 적용될 컨버터에 대해서는 HEV의 컨버터 요구사항을 고려해 적합한 컨버터 토폴로지를 선정할 필요가 있다.

본 논문에서는 HEV에서 요구하는 조건에 부합하는 컨버터 토폴로지를 선정하기 위해서 실제로 국내 자동차 회사의 HEV를 대상으로 한 주행 사이클 데이터를 기반으로 컨버터 토폴로지를 선정하고 설계하였다. 또한 시뮬레이터를 구성하여 본 논문에서 채택한 양방향 DC-DC컨버터의 타당성을 점검하였다.

2. 하이브리드 전력시스템

HEV의 감속 또는 정지 시 발생하는 잉여전력은 저항 등을 통해 소모되지 않고 회생 에너지 제어 장치인 양방향 DC-DC컨버터에 의해 보조 에너지 저장 장치인 배터리에 저장된다. 이 때 고전압인 DC링크 전압은 배터리의 전압 정격에 맞게 감압되어 전달된다. 다른 한편, HEV 가속 시 연료전지의 느린 동특성으로 인해 부하에 전력을 충분히 공급하지 못할 경우 배터리에 저장된 에너지가 DC링크 단에 승압되어 전달된다 [1]. 이런 양

방향 DC-DC컨버터는 HEV의 주행에 따라 승압(Boost) 모드와 감압(Buck) 모드로 동작하게 되는데, 일반적으로 배터리의 SOC(State of Charge), 컨버터의 효율을 고려한 전력과 전압 차 등에 의해 모드가 결정된다.

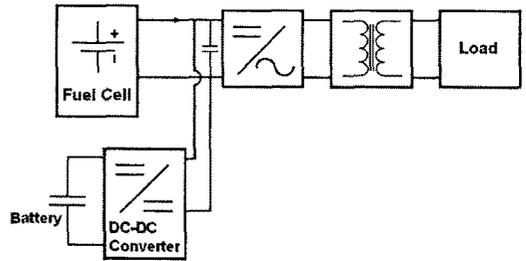


그림 1 하이브리드 전력시스템 구성

3. 양방향 DC-DC 컨버터의 설계

3.1 컨버터 토폴로지의 선정 및 동작 특성

HEV용 양방향 DC-DC컨버터를 적용한 하이브리드 전력 시스템의 경우 입력과 출력의 전위차가 크기 때문에 고주파 변압기의 권선비로 승압비를 크게 할 수 있는 절연형 타입이 장점을 가진다. 또한 권선비를 낮게 할 수 있고 연료전지로부터 유입되는 스위칭 리플을 제거하기 위한 필터가 필요 없다는 장점을 가진 전류형 풀 브리지 컨버터를 저전압 측의 컨버터로 선정하였다 [2].

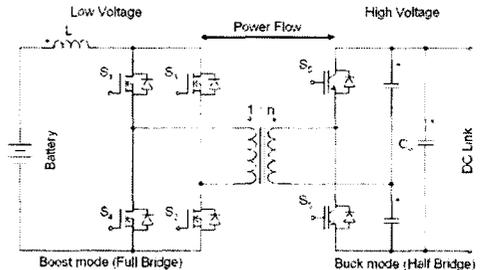


그림 2 양방향 DC-DC컨버터

그림 2는 선정된 양방향 DC-DC컨버터를 보여주며, 저전압 측의 풀 브리지 컨버터와 고전압 측의 하프브리지 컨버터가 조합된 형태이다. 양방향 컨버터는 1차 측 (저전압)에서 2차 측(고전압)측으로 에너지가 전달될 때 방전(Boost Mode)모드로 동작하게 된다. 주 스위치는 시비율 0.5이상으로 동작하며 주 스위치가 모두 턴-온 일 때 에너지를 저장하고, 스위치(S1,S2)나 (S3,S4)가 턴

-오프 될 때 2차 측으로 에너지를 전달한다[3].

3.2 HEV 주행패턴 분석 및 용량 설계

본 연구에 적용된 HEV의 데이터는 2000CC 가솔린 엔진과 12kw급 모터를 동력원으로 사용하며, 144V 배터리와 42V의 보조 에너지 저장 배터리로 구성되어 있다.

그림 3과 4는 적용된 HEV의 실험 데이터를 보여준다. 이 데이터는 HEV의 최초 정지 상태에서 주행 후 최종 정지까지의 연료전지의 전압, 전류 및 속도를 나타내며, 본 논문에서는 이를 가속, 감속으로 나누어 데이터를 분석하였다.

본 데이터를 기초로 양방향 DC-DC컨버터를 설계하였으며, HEV의 가·감속 모드에 따른 충·방전 전류 변화를 수동소자로 모델링하여 충·방전 모드 시 양방향 DC-DC 컨버터의 동작을 시뮬레이션 하였다.

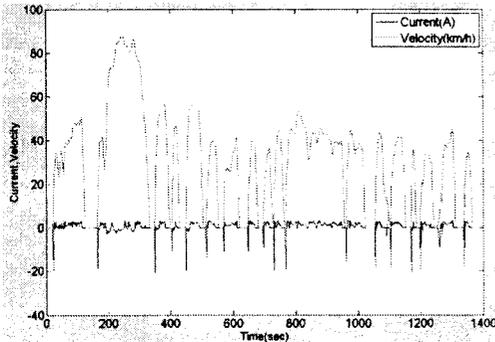


그림 3 HEV Driving Cycle(Velocity, Current)

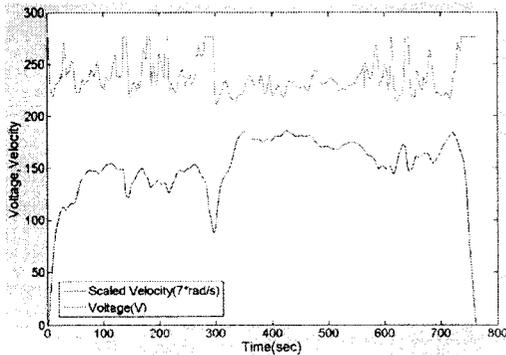


그림 4 HEV Driving Cycle(Velocity, Voltage)

4. 시뮬레이션

HEV의 가감속 모드에 따른 DC-DC 컨버터의 동작을 확인하기 위해 시뮬레이션 프로그램의 저항, 스위치 및 게이트 블록을 이용하여 모드별 시뮬레이션을 수행하였다.

4.1 가속 모드

그림 4와 같이 HEV 가속 시 발생하는 DC 링크 단 전압강하를 시뮬레이터에 구성하였다. 이를 기반으로 양방향 DC-DC컨버터의 충압 모드 동작을 확인하였다. 그림 5는 가속 모드 시 출력 전압 및 전류를 보여준다. 전류가 완만히 변할 때(t_1)와 급격히 변할 때(t_2) 보조 에너지 저장장치인 배터리를 통해 DC 링크 단으로 에너지가 전달되는 것을 확인할 수 있다.

4.2 감속 모드

HEV의 감속 시 양방향 DC-DC컨버터의 감압 동작을 확인하였다. 그림 6과 같이 HEV 감속 시 발생하는 회생 에너지로 인해 DC 링크 전압이 상승되고, 이 에너지는 양방향 DC-DC컨버터를 통해 배터리로 전달되며 배터리 전압 정격에 맞게 일정하게 제어되는 것을 확인할 수 있다. 가속 시와 동일하게 동일한 전류변화 조건으로 시뮬레이션을 수행하였다.

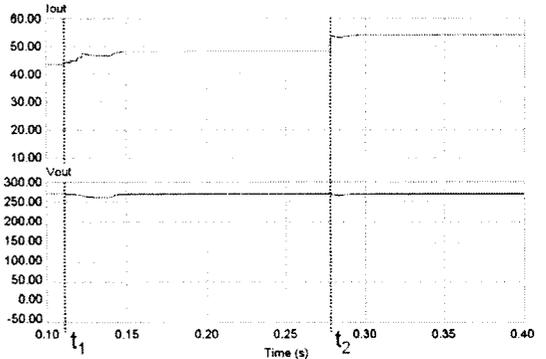


그림 5 차량 가속 시 컨버터의 방전 모드 파형

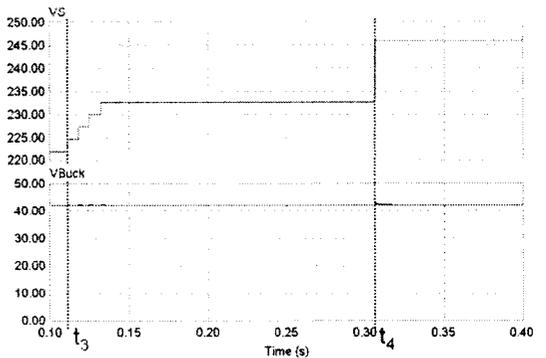


그림 6 차량 감속 시 컨버터 충전 모드 파형

5. 결 론

연료전지를 이용한 하이브리드 전력시스템은 연료전지의 강한 비선형성과 느린 동특성, 잦은 전압 변화로 인한 연료전지의 수명 문제 등의 문제점을 해결하기 위해 적합한 연료전지 전력시스템이다.

따라서 본 논문에서는 하이브리드 전력 시스템이 적용된 HEV의 실제 주행 패턴을 기반으로 이에 적합한 양방향 DC-DC컨버터를 선정하고 시뮬레이터를 구성하였다. 구성된 시뮬레이터를 통해 운전 모드 변화 시 양방향 DC-DC컨버터의 방전(Boost mode)과 충전(Buck mode)제어를 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] R.M. Schupbach, J.C. Balda, "Comparing DC-DC Converter for Power Management in Hybrid Electric Vehicles", Electric Machines and Drives Conference, IEMDC03, IEEE, 2003.
- [2] 최세환, "연료전지 발전시스템에서의 전력전자기술", 전력전자학회지 특집기사, pp.30-35 2003. 8.
- [3] 장수진, 이태원, 이병국, 원종연, 김수석, "충방압용 양방향 DC-DC컨버터 설계 및 제어", 조명·전기설비학회논문지, 제 20권 제5호, pp.49-56, 2006. 6.