

자동차용 양방향 DC-DC 컨버터의 회로특성에 관한 연구

김민조*, 정진범*, 김희준*, 이백행**
 *한양대학교 **자동차부품연구원 전장기술연구센터

A Study of Circuit Characteristic of Bi-Directional DC-DC Converter

*Min-Jo Kim, Jin-Beom Jeong, Hee-Jun Kim, **Baek-Haeng Lee
 *Hanyang University **Korea Automotive Technology Institute

Abstract - As car industry takes the DMB, geographical feature information and Internet service recently, the need of an electricity energy is the trend to increase. But existing 12V car electricity system is difficult to be satisfied rapidly increasing electricity need. A relation component company is adding the spur at a high electricity system development. In this paper we accomplished the bi-directional DC-DC Converter for high electricity system composed 42V configuration device. Through a simulation experiment, We looked into the control method and the operation characteristic of the circuit, We accomplished the comparison analysis for fit topology selection.

1. 서 론

최근 자원고갈 및 환경문제 등과 더불어 자동차 관련 기술에 대한 수요자들의 인지도나 요구 사항은 높아지고 있다. 특히 디지털 산업의 발달로 차량내에 DMB, 지리정보, 인터넷 서비스 기능과 관련된 각종 전자장비가 설치되기 시작하였다. 즉, 기존의 12V 전원 시스템에 큰 부하가 연결되기 시작한 것이다.

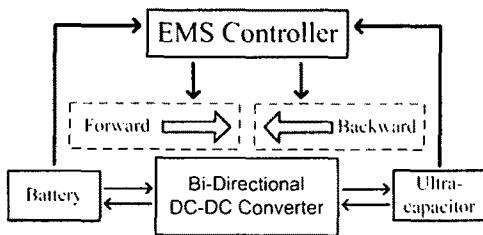
90년대 초 자동차의 전기 장치는 조명, 엔진 시동 및 점화 정도였지만 최근에는 안전한 자동차를 위한 갖가지 장치들이 추가됨으로서 차량내 전기 에너지의 소모는 90년대 초에 비하여 그 수요가 10배가량 증가하였다. 따라서 기존의 12V 전원 시스템으로 높은 전력이 요구되는 현재의 자동차에 적용하기 어렵게 되었다. 이로 인하여 요구되는 것이 42V 전원 시스템이다. 또한 최첨단의 안전성과 디지털 기기의 장착으로 사용전력이 증가되었으므로, 이를 보완하여 자동차에 적용하여야 한다. 이 시스템은 환경 규제와 연비에 대한 규제가 대폭 강화되면서 그 필요성이 더욱 강조되고 있다. 오는 2010년까지 북미·유럽·일본 등지에서 생산되는 경차의 25~30%정도가 42V 전력 시스템을 적용할 것으로 예측된다. 이 시스템이 본격적으로 시장에 도입되면 대전류 입/출력이 빈번히 발생할 것으로 예상된다. 따라서 이들 에너지를 효율적으로 저장하고 관리 하는 에너지관리장치 또한 필요하게 되었다.

이러한 시스템에는 울트라 커패시터와 배터리 사이의 원활한 에너지 순환을 위해서 양방향으로 에너지를 전달 할 수 있는 Buck-boost 시스템만이 적용 가능하다. 이를 토대로 본 논문에서는 Buck-Boost DC-DC 컨버터의 응용 회로를 모의 실험하여 42V 시스템에 가장 적합한 복합형 에너지 저장 장치의 토폴로지를 선정하였다. 또한 모의실험 결과를 비교, 분석하여 선정된 토폴로지의 시스템에 적합성 여부를 살펴보았다.

2. 복합형 에너지 저장 장치

2.1 복합형 에너지 저장장치의 동작원리

그림 1은 복합형 에너지 저장장치 시스템의 모형을 나타낸 것이다. 기본적인 운용시에는 자동차의 시동에 요구되는 높은 출력특성으로 인하여 출력특성이 높은 축전지를 이용한다.



〈그림 1〉 복합형 에너지 저장장치와 EMS

복합형 에너지 저장장치는 EMS Controller, 양방향 DC-DC 컨버터, 배터리, 축전지로 구성되어 있다. EMS Controller는 배터리와 축전지의 정보들을 검출하고, 이들 모니터링 된 정보들을 이용하여 배터리와 축전지 사이를 선택적으로 연결하도록 한다. 즉, 가속이나 시동 등 큰 출력특성이 요구되는 경우에는 축전지를 에너지원으로 하고 이보다 더 큰 전류를 필요로 하는

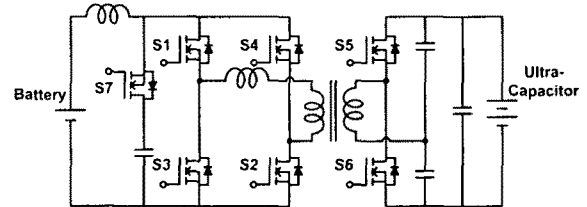
경우에는 배터리에서 에너지를 보충하도록 하는 방식이다. 또한 배터리의 전압이 낮을 경우 축전지에서 에너지를 보충한다. 양방향 DC-DC 컨버터는 축전지의 전압이 아주 높거나 아주 낮을 경우에 동작하여 축전지의 전압을 고르게 유지시켜주는 역할을 한다.

또한 양축전지와 배터리 사이의 원활한 동작을 가능하게 하는 것이 EMS Controller이다. 이는 축전지의 여러 가지 상태를 모니터링 하는 BMS (Battery Monitoring System) 및 축전지의 상태를 모니터링 하는 CMS (Capacitor Monitoring System)와 이들 사이에 연결된 양방향 DC-DC 컨버터를 운용하는 부분으로 구성되어 있다. 배터리와 축전지의 전압, 전류, 온도 등의 상태를 수집하여 적절하게 이들 저장장치를 이용하여 에너지를 공급하도록 제어하는 역할을 한다. 저장장치의 전류, 전압을 검출하여 잔존량을 산출하고, 복합형 에너지 저장장치가 온도에 영향을 받으므로 온도 센서를 부착하여 적정 온도내에서 운용될 수 있도록 제어한다.

3. 양방향 DC-DC 컨버터

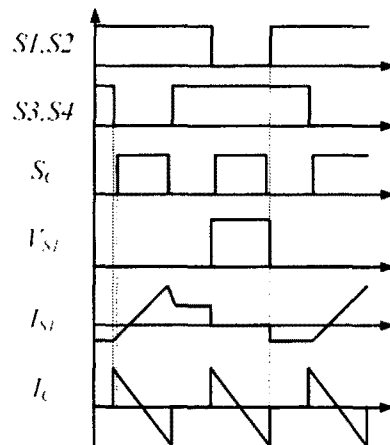
3.1 풀 브릿지형 양방향 DC-DC 컨버터

풀 브릿지형 양방향 DC-DC 컨버터(Full-Bridge Type Bidirectional DC-DC Converter)를 그림 2에 나타내었다. 변압기의 1차측은 풀 브릿지 형태로 구성되어 있고 2차측은 하프 브릿지 형태로 되어있다. 이 회로의 특징은 모든 스위치가 ZVS 동작이 가능하고, 일정한 전압으로 클램핑 되며, 하나의 스위치 구동장치만이 요구된다는 것이다.



〈그림 2〉 Full-Bridge type bidirectional DC-DC 컨버터 회로

직병렬 공진으로 이루어져 있기 때문에 정현파 형태의 전류가 흐르고 소프트 스위칭이 가능하며, 전류 리플은 작다. 반면 인덕터의 크기가 크고, 높은 전압과 높은 전류용으로 대부분 사용된다. 또한 Active 클램프 동작을 하기 때문에 일정한 주파수로 동작 가능하고, 출력 부분에 인덕터가 없는 것이 특징이다. 소프트 스위칭은 쉽게 적용가능하나 부하가 적을시 많은 손실을 가져오게 되고 리플이 커진다는 단점을 가지고 있다.



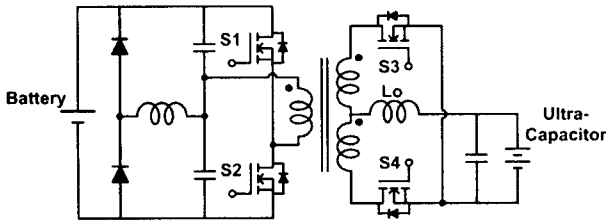
〈그림 3〉 각 부의 파형

스위치 구동신호는 180°의 위상차를 가지고 동작하기 때문에 간단한 회로 구현이 가능하고 일정한 주파수를 갖는다. 하지만 출력측 다이오드에서는 하드 스위칭을 하게 되므로 소모되는 전력이 증가하는 단점을 가진다.

Forward 방향의 회로의 동작은 스위치 S1, S2가 한 조를 이루고 S3, S4가 한 조를 이루어 180° 위상차이로 스위칭을 한다. 그림에서 보는 것과 같이 스위치의 Duty Cycle은 50%이상으로 제어한다. 두 번째 단계는 스위치 역병렬 다이오드만을 이용하기 때문에 제어 신호를 따로 입력하지 않아도 된다. Backward 방향은 Boost type으로 동작하며 S5와 S6이 교번으로 스위칭을 하는 신호를 인가하고 첫 번째 단계는 스위치의 역병렬 다이오드만을 이용하기 때문에 스위치의 제어 신호를 입력할 필요가 없다. 그림 3에 포워드 방향의 모의실험 결과를 나타내었다.

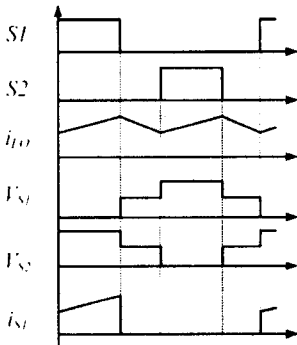
3.2 하프 브릿지형 양방향 DC-DC 컨버터

하프 브릿지형 양방향 DC-DC 컨버터(Half-Bridge Type bidirectional DC-DC converter)를 그림 3에 나타내었다. 배터리와 울트라 커패시터 사이의 전기적 절연을 시켜준다. 스위치의 개수가 줄어들어 제어가 간편하고 제어 신호 또한 Phase Shift를 이용하므로 하나의 신호를 분산시켜 제어할 수 있다. 중용량의 타입에 많이 쓰이는 회로이며 대용량으로 사용하기에는 변압기의 크기가 커지는 문제가 있어 적용하기는 어렵다. 스위치의 전압 스트레스가 입력 전압의 두 배가 되어 온도 문제와 가격 면에서 조금 커지는 경향이 있다. 또한 forward 방향으로 제어시 S3, S4의 역병렬 다이오드로 전류가 상당량 흐르게 되므로 이를 보완해 주어야 한다. 이는 회로 전체 효율을 악화시키는 원인이 된다.



〈그림 4〉 Half-Bridge type bi-directional DC-DC converter

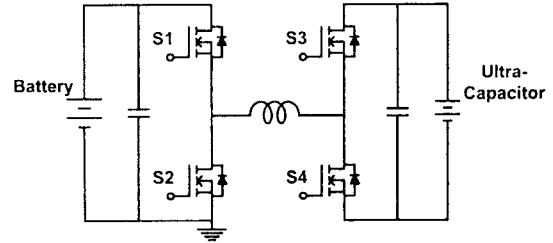
그림 5는 이 회로의 Forward 방향의 모의실험 결과를 나타낸 것이다. 스위치 S1과 S2가 180°위상 차이로 스위치를 턴-온 시키며 S1이 도통 되었을 때 인덕터 L0에 에너지가 저장되고 스위치 S2에는 입력 전압 두배 만큼의 전압이 걸리게 된다. S1과 S2 두 스위치가 모두 턴-오프 되었을 때 L0는 충전된 에너지를 방출하게 된다. 스위치의 전압 스트레스를 보면 스위치 양단에는 입력 전압 크기만큼의 전압이 걸리게 된다. S2가 도통 되었을 때 다시 인덕터 L0에 에너지가 저장되고 다시 모든 스위치가 차단 되었을 때 인덕터에 저장된 에너지가 방출된다. 이 회로는 전력 용량이 작아 대용량 컨버터에 적용하기는 힘들다.



〈그림 5〉 각 부의 파형

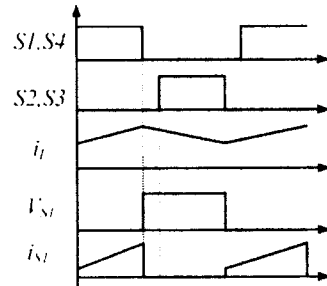
3.3 양방향 벡-부스트 직렬 컨버터

그림은 양방향 벡-부스트 직렬 컨버터(Bidirectional Buck-Boost Cascade converter) 나타내었다. 이 회로는 배터리가 축전지로 전달하는 모드와 축전지에서 배터리로 전달하는 모드의 동작이 동일하여 제어가 간단하다. 스위치에 걸리는 전압스트레스가 배터리와 축전지의 전압과 동일하여 세픽(sepic) 컨버터 보다 전압 스트레스를 줄일 수 있어, 스위치의 가격적인 면과 온도 상승 문제를 완화시킬 수 있다. 또한 앞의 회로와 달리 변압기가 필요하지 않고 인덕터의 수 또한 줄어들어 가격적인 면에서 유리하다. 그러나 하드 스위칭 문제를 동반하기 때문에 스위치에서의 서지성 문제를 피할 수 없다. 이를 해결하기 위해서는 스위치를 추가하여 해결해야 하기 때문에 회로가 복잡해지게 된다. 하이브리드 자동차에 쓰이는 양방향 DC-DC 컨버터의 전력 용량은 700W급이므로 상당히 큰 인덕터가 요구된다. 또한 스위치의 전류 용량이 상당히 큰 문제가 있어 병렬 구조로 해결해 주어야 하는 단점이 있다.



〈그림 6〉 Bi-directional Buck-Boost Cascade Converter

이 회로의 동작은 인덕터 에너지 저장구간, 전류 전이구간, 인덕터 에너지 방전 구간과 역회복 현상이 발생하는 구간으로 나누어져 있다. 스위치 S1과 S4가 도통되면 인덕터에 에너지가 저장되고 스위치 양단의 전압은 0이 된다. 다음 모든 스위치가 차단되는 구간에서는 스위치 양단의 전압이 입력 전압과 같은 크기를 갖는다. 또한 이 구간에서는 인덕터에서 충전된 에너지가 방전되기 시작한다. 다음으로 스위치 S2, S3가 턴-온 되고 인덕터에 충전된 에너지는 방전한다. 이와 같은 동작을 바탕으로 회로를 모의 실험한 결과 그림 7과 같이 나타났다.



〈그림 7〉 복합형 에너지 저장장치와 EMS

4. 결 론

최근 관심이 고조되고 있는 하이브리드 자동차의 에너지 저장 장치의 기본적인 개략과 용도를 살펴보았다. 현재 많은 유관 기관에서 하이브리드 자동차와 관련된 핵심부품들의 개발에 박차를 가하고 있다. 자동차 선진국인 일본에서는 하이브리드 기술을 적용하여 출시된 자동차가 시판되었다. 에너지 문제의 대안으로 나온 이러한 자동차들의 수요는 날로 증가하게 될 것이고 이는 에너지 저장장치의 수요 또한 증가시키게 될 것이다. 이를 토대로 에너지 저장장치의 핵심적인 부분인 양방향 DC-DC 컨버터를 비교분석하였다.

본 논문에서는 가장 널리 사용되는 세 가지 양방향 DC-DC Converter를 제시하여 이들 회로의 장단점을 찾고, 모의실험을 통하여 각 상황에 적합한 회로를 제안하였다. 첫 번째로 풀 브릿지형 양방향 DC-DC 컨버터를 모의 실험하였다. 이 회로는 하이브리드 자동차에 적합한 대용량으로 많이 쓰일 수 있지만 상대적으로 스위치의 요구 수량이 많고 인덕터의 크기가 증가하게 되므로 가격적인 측면을 고려하기 힘들고, 그림 4의 하프 브릿지형 양방향 DC-DC 컨버터는 풀 브릿지형 회로 보다는 경량이고 제어 또한 간단하다. 하지만 이 회로는 고용량의 사양에 적용하기는 힘들다. 하이브리드 자동차의 요구 전력용량은 700W급으로 제작 되어야 하나 하프 브릿지형은 그보다 작은 중·소용량의 전력요구 사양에 적합하다. 현재 가장 널리 사용되고 있는 회로가 양방향 벡-부스트 직렬 컨버터 회로이다. 회로의 크기 면에서 간소하고 인덕터의 용량이 커지는 문제점이 있으나 제어 회로의 간편화로 회로 구현은 쉬운 장점을 지니고 있다. 추가 회로를 부차하여 회로에 소프트 스위칭이 가능하며 이는 회로의 효율을 높이는데 일조한다.

따라서 모의실험을 통한 각 회로의 장단점을 살펴본 바로는 현재 가장 널리 쓰이고 있는 양방향 벡-부스트 직렬 컨버터 회로 보다는 중·대형 용량에 적합한 풀 브릿지형 양방향 DC-DC 컨버터를 적용하는 것이 자동차의 안정성과 효율 측면에서 유리할 것으로 사료된다.

【참 고 문 헌】

- [1] Su Jin Jang, "Bi-directional DC-DC Converter for Fuel Cell Generation System", IEEE Power Electronics Specialists Conference, 4722~4728, 2004
- [2] F. Caricchi, "Study of Bi-directional Buck-Boost Converter Topologies for Application in Electrical Vehicle Motor Drives", IEEE, 287~293, 1998
- [3] Manu Jain, "A Bi-directional DC-DC Converter Topology For Low Power Application", IEEE, 804~810, 1997