

슈퍼 커패시터를 사용한 MHEV용 5kW급 저압 인버터 시스템 개발

남호준*, 김준석*, 최동수**, 윤준철**, 이석희**
 인천대학교*, (주)저스텍**

Development of 5kW Low Voltage Inverter System Using Super Capacitor for MHEV

Ho Jun Nam*, Joohn Sheok Kim*, Dong Soo Choi**, Jun Cheol Yoon**, Seok Hee Lee**
 Incheon University*, Justek Inc**

ABSTRACT

고유가 시대의 도래와 화석연료의 소비를 줄일 수 있는 환경 친화적 자동차인 하이브리드 자동차의 도입이 일본, 미국 등을 중심으로 꾸준히 증가하고 있다. 이 중 마일드 하이브리드 시스템은 Idle Stop Start, Launch Assist 및 회생 제동 등의 기능을 적용하여 연비개선의 효과를 갖고 있다.

본 논문에서는 기존 화석 연료를 사용하는 자동차에도 적용이 가능하며 2차 전지에 비해 수명이 긴 슈퍼 커패시터를 사용하여 MHEV용 5kW급 저압 인버터 시스템을 개발하였다.

1. 서론

자동차의 기하급수적인 증가로 인해 환경오염에 대한 관심이 날로 증가하고 있으며 주 에너지원인 화석연료의 고갈과 고유가 시대의 도래 등의 문제로 인해 전 세계적으로 대체 에너지 사용과 에너지 효율 향상의 필요성이 크게 늘어나고 있다. 이러한 노력의 일환으로 유해 배출가스를 저감하는 동시에 연비를 향상시킬 수 있는 하이브리드 전기자동차 개발이 일본, 미국 등 선진국 자동차 업체를 중심으로 활발히 진행되고 있다.

하이브리드 시스템은 전기에너지가 차량의 구동에 기여하는 정도에 따라 표 1과 같이 마이크로 타입(Micro Type), 마일드 타입(Mild Type), 하드 또는 풀 타입(Hard or Full Type) 등으로 구분할 수 있다. 이러한 하이브리드 시스템에서의 핵심 기술 중 하나인 ISG(Idle Stop & Go)는 자동차가 신호 대기나 극심한 교통체증으로 5초 이상 정차해야 할 때 자동적으로 엔진이 꺼지고, 다시 출발할 때 액셀레이터만 밟으면 다시 시동이 걸려 재출발할 수 있도록 한 장치이다. 공회전을 제한해 내연물질 및 온난화 가스 발생을 줄이고 연료 절감을 도와준다.

그림 1은 마일드 하이브리드와 풀 하이브리드를 비교한 그림이다. 대용량 모터 2개를 사용하여 복잡한 풀 하이브리드 시스템과는 달리 마일드 하이브리드 시스템은 기존 화석 연료를 사용하는 자동차의 구조와 거의 동일하며 발전기 대신 전기 모터가 장착되어 있어 가속순간에 모터가 엔진의 동력 보조 역할을 수행하게 되고 정속 주행 시는 일반 자동차와 동일하게 엔진으로만 구동하는 타입이다.

본 논문에서는 2차 전지에 비해 수명이 긴 슈퍼 커패시터를 사용하여 기존 화석 연료를 사용하는 자동차에도 적용이 가능

한 MHEV용 5kW급 저압 인버터 시스템을 개발하였다.

표 1 하이브리드 기술의 개요

	Micro Hybrid	Mild Hybrid	Full Hybrid
전기모터의 출력	2 ~ 3 KW	5 ~ 10 KW	> 10 KW
연비향상	< 10 %	< 20 %	> 20 %
기능	<ul style="list-style-type: none"> · ISG · Regenerative Braking 	<ul style="list-style-type: none"> · ISG · Regenerative Braking · Launch Assist 	<ul style="list-style-type: none"> · ISG · Regenerative Braking · Launch Assist · Electric Drive

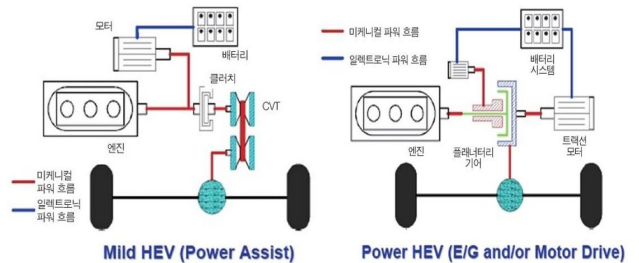


그림 1 마일드 하이브리드와 풀 하이브리드 비교

2. 제안한 MHEV용 5kW급 저압 인버터 시스템

마일드 하이브리드 시스템은 ISG 기능에 의해 엔진이 꺼지고 다시 시동이 걸려 출발할 때 모터가 엔진의 동력을 보조하기 위해 순간적인 대전류가 필요하며, 기동과 제동을 반복하므로 에너지 저장 장치의 충·방전의 횟수가 많은 특징이 있다.

현재 많이 사용되고 있는 에너지 저장 장치는 2차 전지와 슈퍼 커패시터가 있으며, 이 중 2차 전지는 단기간에 대전류를 출력하기 어렵고, 충·방전 횟수가 제한되는 단점이 있다. 그에 반해 슈퍼 커패시터는 대전류를 순간적으로 출력할 수 있고 반영구적인 수명과 급속 충·방전이 가능하다는 장점이 있다. 본 논문에서는 2차 전지 대신에 슈퍼 커패시터를 사용한 MHEV용 5kW급 저압 인버터 시스템을 개발하였다.

그림 2에는 개발한 MHEV용 인버터 시스템의 구성이 도시되어 있다.

개발된 시스템은 크게 슈퍼 커패시터를 이용하여 DC전원을 공급하는 부스트 컨버터부와 모터에 AC전원을 공급하는 인버터부로 구성되어있다.

모터는 5kW급 IPM 형태로 개발되어, 단위 전류 밀도 당 최대 토크를 발생하기 위해 d축 전류와 q축 전류를 모두 사용하도록 되어있다.

MHEV에서는 기존 자동차의 발전기 대신 모터를 장착하여 모터 크기에 제한이 있으며, 발전기로도 사용하기 때문에 고속 동작 시에 역기전력이 증가하게 되므로 역기전력을 크게 할 수 없고 단자 전압 역시 크게 높일 수가 없다. 또한 슈퍼 커패시터의 전압을 올리기 어렵기 때문에 단자 전압을 높이면 전력 균형을 맞추기가 어려운 문제로 인해 단자 전압을 작게 하여야 한다. 이러한 이유로 인해 전압은 낮추고 전류를 높은 대전류형 저압 인버터 시스템을 개발하였다.

개발된 모터의 역기전력은 약 20V에 해당되고, 단자전압은 모터의 역기전력을 고려하여 약 50V로 일정하게 제어되도록 구성되었다. 슈퍼 커패시터의 최대 충전 전압은 28V이고 부스트 컨버터를 통해 단자전압을 일정하게 승압하여 공급한다.

가속 시 슈퍼 커패시터의 전압은 선형적으로 감소하기 시작하며 일정 전압이 되면 방전이 멈추게 되고 모터는 발전기가 되어 슈퍼 커패시터를 다시 28V로 충전하게 되는 충·방전 동작을 반복하게 된다.

슈퍼 커패시터 앞에는 초기 충전 회로가 설치되어 있는데 슈퍼 커패시터는 가만히 두면 자연 방전을 할 수 있으므로 이를 방지하기 위함이다.

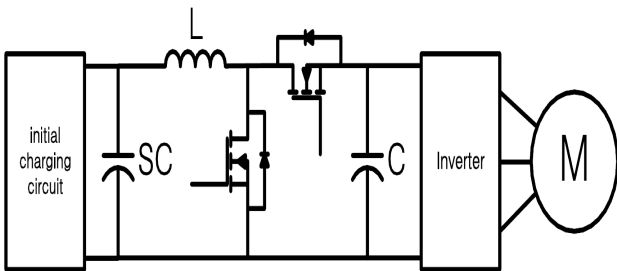


그림 2 제안한 MHEV용 5kW급 인버터 시스템 구성도

3. 실험 결과

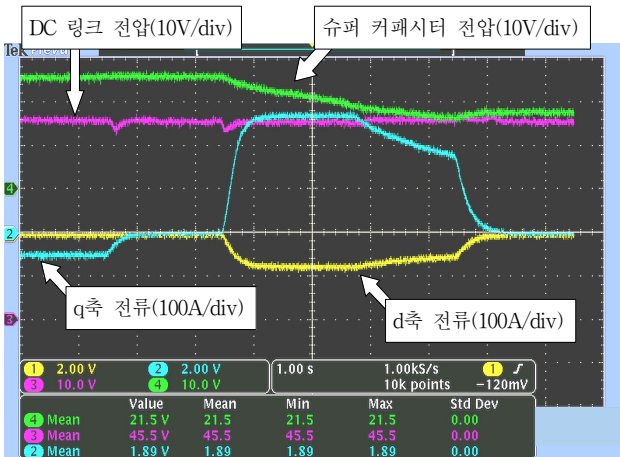


그림 3 가속 시 동작 파형

그림 3은 가속 순간에 나타나는 동작 파형이다. 슈퍼 커패시터는 약 26V로 충전이 되어 있으며, DC 링크 전압은 양방향 DC/DC 컨버터에 의해 약 46V로 제어가 되어있다. 가속 순간에 단위 전류 밀도 당 최대 토크 발생을 위해 d축 전류는 약 100A, q축 전류는 약 260A로 제어하고 있으며, 이 때 슈퍼 커패시터 전압이 선형적으로 감소함을 볼 수 있다.

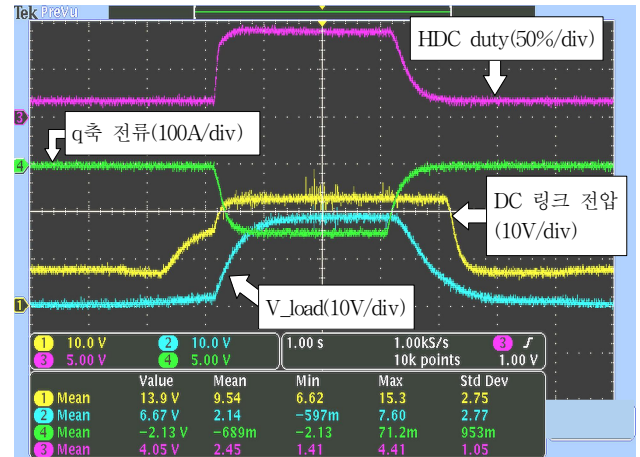


그림 4 회생 제동 시 동작 파형

그림 4는 회생 제동 시에 나타나는 동작 파형이다. 이 실험을 하기 위해 DC 링크단에 0.3Ω의 저항을 연결하였고, 회생 제동이 되어 모터가 발전기로 동작 하면 duty 90%에 가까운 PWM이 발생하여 q축 전류가 약 150A의 전류로 제어되는 것을 볼 수 있다. 이 에너지를 통해 슈퍼 커패시터가 충전 된다.

4. 결론

본 논문에서는 슈퍼 커패시터를 사용하여 기존 화석 연료를 사용하는 자동차에도 적용이 가능한 MHEV용 5kW급 저압 인버터 시스템을 개발하였다. 기존 차량의 구조와 큰 변화 없이 5kW급 모터를 장착함으로써 중소용량의 만 충전된 슈퍼 커패시터의 에너지로 대전류를 흘려주어 모터가 가속을 하여 엔진의 동력을 보조해준다.

참고 문헌

- [1] Back Haeng Lee, "A Study on Efficiency and Cycle Life Improvement of Hybrid Energy Storage Systems for Mild Hybrid Electric Vehicles", Hanyang University, 2009
- [2] 김기석, "연료전지/슈퍼커패시터 미래 자동차 발전(Power Generation)을 위한 하이브리드 동력원", 전력전자학회지, 제15권 제2호 2010.4, page(s): 47 53
- [3] 최광용, 이승현, 김종대, 이상길, "42V 시스템을 적용한 Mild HEV 개발 ", 한국자동차공학회 2006년 추계 학술대회 논문집 Volume III 2006.11, page(s): 1565 1570
- [4] Jian Cao Emadi, A, "A new battery/ultra capacitor hybrid energy storage system for electric, hybrid and plug in hybrid electric vehicles", Vehicle Power and Propulsion Conference, 2009. VPPC '09. IEEE