

전기자동차용 인버터의 보호기능

Protection of the Inverter for Electric Vehicles

전범수*, 이재신*, 김웅회*, 김형택*, 원충연**

Bum-su Jun*, Jae-shin Lee*, Ung-hoe Kim*, Hyoung-taek Kim*, Chung-yuen Won**

*LSIS Co., LTD,

**School of Information and Communication Engineering Sungkyunkwan University.

Abstract

EV의 중요한 부품은 MCU(인버터), BMS(고전압), LCD(저전압 충전장치), OBC(완속충전장치), EWP(냉각장치), PTC(히터), A/C(에어컨) 등으로 구성되어 있으며, 특히 EV용 인버터의 경우 핵심 부품으로 신뢰성 및 보호기능에 대한 중요성이 인식되고 있다. EV 인버터는 온도(인버터, 모터), 단락과 단선, 인터락 및 최대출력제한 등에 대한 보호기능 구현이 되어 있으며, 고장발생시 고장을 진단할 수 있는 기능(DTC)이 구현되어 있다. 이러한 보호기능 중에 단락과 단선 시 인버터의 보호는 중요한 요소이며, 이를 구현하기 위한 회로설계 및 회로분석이 필요하다.

본 논문에서는 EV용 인버터에 사용되는 병렬 운전형 인버터의 단락 및 단선 시 시스템을 보호할 수 있는 드라이버 회로 설계 및 분석을 수행하며, 실험을 통해 그 결과를 검증한다.

1. 서론

현재 전세계적으로 전기자동차(EV)에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있으며, 일본, 미국 및 유럽의 자동차 메이커에서는 전기자동차의 양산을 위한 준비가 완료되어 판매를 하고 있다.^[1] 국내의 경우 현대기아자동차에서 시범형 차량을 개발하여 시험운행에 있으며, 양산용으로 개발하기 위한 노력을 하고 있다.

현재 EV에 사용되는 인버터는 IGBT 3개를 병렬로 사용하여 최대 출력 100kW로 운전이 가능하게 설계되어 있다. 하지만 전기자동차의 특성상 내구성 및 수명보장을 위해 냉각 유로개선 및 부품온도의 최적설계가 이루어져야 하며, 이러한 부분을 개선하기 위한 비용과 시간이 필요하다. 또한 전기자동차(EV)의 경우 차량을 움직이는 중요한 요소가 인버터가 되기 때문에 모든 보호기능에 대한 정보를 통신을 이용하여 긴밀하게 상위제어기와 정보를 공유하게 된다.

IGBT 3개를 사용한 인버터의 경우 3상에 대한 IGBT를 독립적으로 제어를 하고 있으며, 운행 중 과열에 의한 모터손상이 발생하였을 경우에 인버터의 단락과 단선 기능은 인버터의 보호에 대한 부분이 중요한 요소가 된다.

이러한 보호기능은 기존의 한 개의 IGBT를 사용하였을 경우와 다르게 나타나기 때문에 회로 설계 시 고려가 필요하다. 또한 IGBT 구동소자에 대한 선택에 있어 매우 중요한 요소가 된다.

본 논문에서는 전기자동차(EV)를 구동하기 위한 인버터의 보호기능 중 단락과 단선 기능 구현을 위한 구동 소자선정, 회로설계방법 및 분석을 수행하며, 이를 실험을 통해 검증한다.

2. 본론

2.1 전기자동차(EV)의 시스템 구성.

전기자동차(EV)의 구성은 고전압 배터리(BMS), 고전압 배터리를 충전하기 위한 충전장치(OBC), 제어전원을 위한 저전압 배터리(12V), 저전압 배터리를 충전하기 위한 충전장치(LDC) 구동을 위한 모터(IM), 모터를 제어하기 위한 인버터(PCU or MCU), 모터의 출력을 구동축에 전달하기 위한 트랜스미션으로 구성되어 있다.

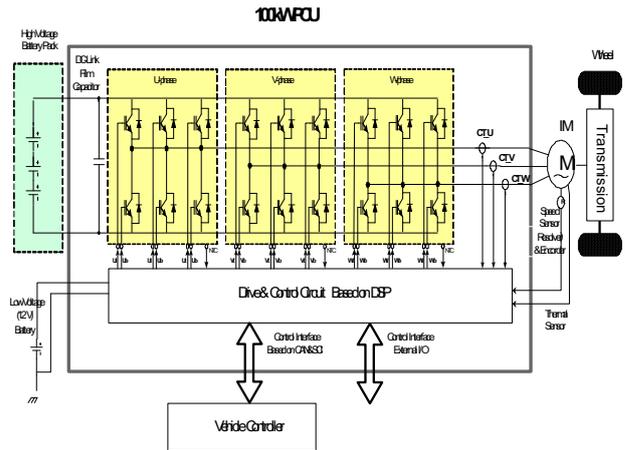


그림.1 전기자동차(EV)의 시스템 구성.

모터제어를 위한 인버터의 내부는 3개의 IGBT로 구성되어 있으며, IGBT를 구동하기 위한 드라이브보드 및 제어를 위한 제어기로 구성되어 있다. 시스템 제어보드는 드라이브보드와 연결되는 연결단자, 속도를 측정하기 위한 레졸버 입력단자, 전류를 측정하기 위한 전류센서 입력 단자, 외부 신호와 통신 및 정보를 제공하기 위한 단자로 구성되어 있다.

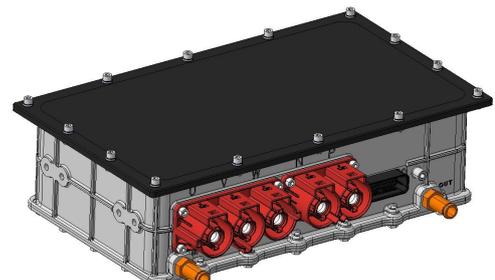


그림.2 전기자동차(EV)용 인버터 3D 모델.

그림2는 실제 차량에 적용되어 사용되는 인버터의 3D 모델을 보여주고 있다. 외부 입력은 3P 고전압 출력케이블, 2P 고전압 DC 입력케이블, 저전압 케이블단자로 구성되어 있고, 냉각방식은 수냉식으로 외부 냉각수와 연결이 가능하게 연결부가 있다.

2.2 단락과 단전을 위한 회로설계.

EV용 인버터의 IGBT를 구동하기 위한 소자는 인피니언(1ED020I12FA)을 사용하였다. 단락의 경우 제조사별로 인식하는 DESET 전압이 상이하기 때문에 설계시 데이터시트를 참조하여야 한다. 또한 병렬운전에 대해 제공된 부분이 없기 때문에 설계 후 실험을 통한 검증이 필요하다.

그림3은 인피니언에서 제공하는 참조 회로도이다. 기본적인 구성은 동일하게 설계가 되어지고, IGBT 3개를 구동하기 위해서 1ED020I12FA를 6개만 사용하기 때문에 IGBT 1개에 1ED020I12FA 2개를 사용하여 설계하였다. 이때 구동전류에 대한 충분한 공급이 필요하기 때문에 약간의 회로변경이 필요하다.

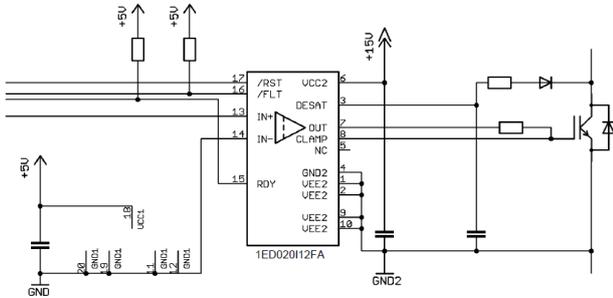


그림.3 인피니언(1ED020I12FA)의 참조 회로도.

그림3의 참조 회로를 기반으로 하여 회로를 설계하였으며, RST단자와 FLT 단자에는 노이즈 방지를 위한 CAP을 추가하여 설계하였다. 또한 Clamp 기능을 제거하여 사용하지 않고 Out 단자는 IGBT Base 단자 저항으로 연결된 부분을 용량에 따라 스위칭이 가능하게 TR을 이용하여 설계하였다.

또한 단락시 DESAT의 측정을 위한 Cap회로 및 전압을 분배하기 위한 저항을 추가하였고, 1ED020I12FA의 DESAT값이 9V에서 동작이 이루어지기 때문에 병렬 운전시 인가되는 저항의 값은 3배정도 올려주어야 한다. 이것은 PWM 소자의 특성에 따라 결정되며 Data 시트를 참고하여 설정하여야 한다. 위에 선정한 CAP값과 저항값에 의해서 단락의 민감도가 결정이 되기 때문에 실험을 통해 만족되는 값을 튜닝하여 사용하는 것이 바람직하다. 만약 단락시 DESAT에 인가되는 전압이 늦게 측정이 되면, IGBT 소자가 파괴가 되고, 단락조건보다 일찍 측정이 되면 순간토크 지령 시 단락검출이 되어 시스템의 정지를 발생할 수 있어 보다 많은 시간 검증이 필요하다.

2.3 실험결과.

인피니언 소자(1ED020I12FA)의 단락 조건은 $V_{ce}=15V$, $V_{dc}=360[V]$, $I_{sc}=2800A$, $T=25$ 도이며, 이때 단락시간은 $T_{sc}=8\mu s$ 이내로 되어 있다.

실험에서 실험한 조건은 $V_{ce}=15V$, $V_{dc}=310[V]$, $T=25$ 도이며 이때 $I_{sc}=3200[A]$ 가 되어 선형적으로 보간을 했을 때 $T_{sc}=10.4\mu s$ 의 조건이 계산되었다.

그림4는 위의 회로로 시스템을 구현하여 실험한 결과를 보여주고 있다. 실험에 조건은 출력선의 길이가 실험에 큰 영향을 미치기 때문에 실제 사용되는 실제차량 케이블을 사용하는 것이 바람직하며, 실제 차량 케이블을 확보하지 못하였을 경우 가급적이면 DC입력선과 3상 출력케이블은 짧게 연결하여 실험을 진행하면 된다.

실험 측정은 U, V상을 무부하 운전 중에 단락을 시키고 이때 전류의 측정범위 및 최고전류에 도달하는 시간을 확인하여 단락의 시간으로 결정한다. 그림4에서는 단락시점에서 최고점의 전류가 발생하는 시점에서의 시간은 대략 8.3us로 설계값을 만족하였고, PWM 차단 지연시간은 대략 1~2us로 data 시트에 나와있는 시간(1~2.25us)을 만족하며, 발생과 동시에 시스템의 출력을 제한하여 시스템을 보호한다.

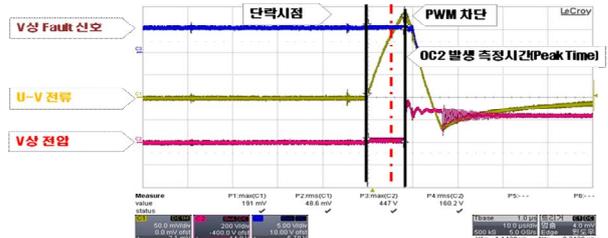


그림.4 인버터 단락 실험결과

단락조건은 각상당 수십회 반복하여도 문제가 발생되지 않아야 하며, 부하실험 운전을 통해 단락 민감도에 대한 검토가 이루어져야 한다.

2. 결론

EV용 3상 병렬 인버터의 단락과 단전 시 시스템을 보호하기 위한 드라이브 회로설계를 제시하였고, 실험을 통해 검증하였다. 실제 EV차량에서 보호기능의 구현 및 검증은 사용자의 안전과 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 그 중요성을 인식하지 않을 수가 없다. 따라서 3상 병렬 인버터의 단락과 단전 시 시스템을 보호하는 회로의 설계 및 실험을 통해 제시 함으로서 EV용 인버터의 국내개발에 많은 도움이 될 것이라 판단된다.

Reference

- [1] 이상택, 조주희, 김대영, “전기자동차 구동시스템의 개발동향”, 전력전자학회, 전력전자학회지, 제 16 권 제 2 호 2011.4, page(s): 32-37.
- [2] Sado, H., S. Sakai and Y. Hori, Road Condition Estimation for Traction Control in Electric Vehicle, IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp.973-978, Bled, Slovenia, 1999.
- [3] B.S JUN, J.H. LEE, S.H. PARK, T.S. KWON, H.W. JUNG and C.Y. WON, “Speed Control of IPMSM for Hybrid Electric Commercial Vehicle,” ICMIT, December 2009.