

전기자동차의 전력공급을 위한 PRA 설계 및 구현

채용웅*

Design and Implementation of PRA for a Power Supply of Electrical Vehicle

Yong-Yoong Chai*

요 약

본 논문은 릴레이 장치 및 구동 제어 방법에 관한 것으로서, DC 고전압 배터리의 전력을 전기자동차의 인버터를 구동하기 위해 전력을 접속하거나 차단하는 릴레이에 관한 것이다. 본 논문을 통해 DC 고전압 배터리에서 릴레이가 접속되는 순간 릴레이의 접점에서 강한 스파크가 발생하는 것을 방지하고 접점의 열화 및 노후로 인해 증가하는 릴레이 내부 저항값을 보상하기 위한 서브릴레이가 제안되었다. 제작된 릴레이의 정격 전력은 10KW 정도이며 전기적 순단시험 등을 통해 릴레이의 전기적 특성을 검증하였다.

ABSTRACT

As this paper is related to the relay and its driving control method, it explains about the relay which connects or interrupts the DC high voltage battery's power to drive the electric car's inverter. The paper suggests a sub-relay which prevents strong sparks from relay's contact point when the relay connects to the DC high voltage battery and also compensates for the increasing internal resistance value that is caused by deterioration at contact point. The relay's rated power is approximately 10KW and the relay's electric property has been verified through electrical instantaneous power short test, etc.

키워드

Electrical Vehicle, Relay, Power Supply, Inverter, Battery
전기 자동차, 릴레이, 파워 서플라이, 인버터, 배터리

1. 서 론

최근 연비절감과 이산화탄소 배출량을 최소화하는 친환경 자동차에 대한 개발 및 보급이 국내외에서 정책화되고 있는 상황이며, 이에 따라 HEV(: Hybrid Electric Vehicle) 및 EV(: Electric Vehicle)자동차에 대한 관심이 증폭되고 있다. 전기자동차에서 PRA(: Power Relay Assembly)는 전기차량에 전력을 공급하는 배터리에서 인가되는 전력을 공급받아 부하단에

전력의 공급과 차단을 위해 구동하는 릴레이의 온 오프 동작을 제어하기 위한 장치이다[1-3].

전기자동차에 장착되는 PRA가 전달해야 되는 전력이 5KW 이상으로 매우 크다. 따라서 일반적인 릴레이로 큰 전력전달을 하게 되면 온 오프 시에 릴레이의 접점에 스파크가 발생하게 되어 열화현상이 나타나게 되고 이로 인해 릴레이의 수명이 단축되게 된다.

이에 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 복수의 릴레이가 기존의 메인릴레이에 병렬 접속

* 교신저자 : 계명대학교 전자공학전공
• 접수일 : 2016. 06. 21
• 수정완료일 : 2016. 07. 13
• 게재확정일 : 2016. 07. 24

• Received : Jun. 21, 2016, Revised : Jul. 13, 2016, Accepted : Jul. 24, 2016
• Corresponding author : Yong-Yoong Chai
Dept. of Electronic Engineering, Keimyung University
Email : yychai@kmu.ac.kr

하는 구조를 제안하고자 한다. 이러한 동작을 위해서 PRA는 메인릴레이, 제1서브릴레이, 제2서브릴레이, 프리차지저항, 커패시터, 전류센서[4] 등으로 구성되며 자동차 배터리에 대한 전원을 접속/차단하는 역할을 수행한다.

II. PRA 개념

일반적으로 넓은 의미의 하이브리드 차량은 서로 다른 두 종류 이상의 동력원을 효율적으로 조합하여 차량을 구동시키는 것을 의미한다. 대부분의 경우는 연료(휘발유 등의 화석연료)를 연소시켜 회전력을 얻는 엔진과 배터리 전력으로 회전력을 얻는 전기모터에 의해 구동하는 차량을 의미하며, 이를 통상 하이브리드 전기차량(Hybrid Electric Vehicle, HEV)이라 부르고 있다. 이와 같은 하이브리드 차량은, 엔진뿐만 아니라 전기모터를 보조동력원으로 채택하여 연비 향상 및 배기가스 저감을 도모할 수 있는 미래형 차량으로서, 연비를 개선하고 환경 친화적인 제품을 개발해야 한다는 시대적 요청에 부응하여 더욱 활발한 연구가 진행되고 있다. 하이브리드 차량은 엔진과 전기모터를 동력원으로 하여 다양한 구조를 형성할 수 있는데, 엔진의 기계적 에너지와 배터리의 전기에너지를 동시에 사용할 수 있어 에너지를 효율적으로 사용할 수 있다는 장점 때문에 승용차 등에 널리 채택되고 있다. 특히, 엔진과 전기모터의 최적 작동영역을 이용하므로 구동 시스템 전체의 연비를 향상시키는 물론, 제동 시에는 전기모터로 에너지를 회수하므로 효율적인 에너지의 이용이 가능하다[5].

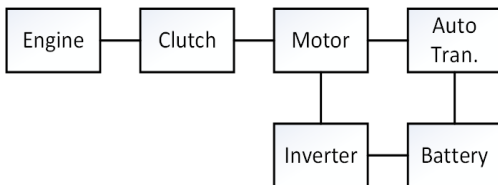


그림 1. 하이브리드 차량의 동력전달 블록도
Fig. 1 Block diagram of power supplying in hybrid electrical vehicle

그림 1은 하이브리드 차량의 동력 전달 과정 도시한 블록도이다[6-7]. 그림 1에 도시된 바와 같이, 하이브리드 차량은 엔진, 모터, 자동변속기가 일축 상에 직결되어 있고, 엔진 및 모터 간에는 클러치가 배열되어 있으며, 이들의 동작을 위한 구성으로서 배터리가 인버터를 통해 모터와 충전 및 방전이 가능하도록 연결되어 있다. 이와 같은 구성을 갖는 하이브리드 차량의 동력전달 및 주행 모드를 보면, 모터의 동력만을 이용하는 순수 전기자동차 모드인 EV 모드와, 엔진의 회전력을 주동력으로 하면서 모터의 회전력을 보조 동력으로 이용하는 HEV 모드와, 엔진 동력만을 이용하여 주행하는 동시에 모터는 배터리 충전을 위한 발전기 역할을 하게 되는 엔진 단독 모드와, 차량의 제동 혹은 관성에 의한 주행 시 차량의 제동 및 관성 에너지를 모터에서 발전을 통하여 회수하여 배터리에 충전하는 회생제동 모드 등을 포함한다[8].

하이브리드 차량에서 일반적인 배터리 시스템은, 다수의 배터리 셀로 구성되는 배터리, 및 배터리 라인을 연결하는 릴레이 등으로 구성된다. 이때, 릴레이를 사용하는 목적은, 에너지 저장매체와 그 외의 시스템 간에 전기적인 절연을 확보하기 위함이며, 차량 운행 시에는 릴레이가 단락되어 전원을 공급하지만, 키 오프나 정비, 위기 상황에서는 릴레이가 개방되어 전기적인 안정성을 확보하게 된다.

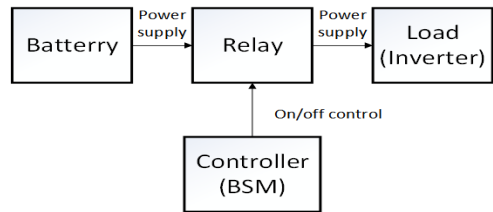


그림 2. 종래의 전기 차량의 전력 공급을 위한 릴레이 장치 블록도

Fig. 2 Block diagram of previous power supplying in electrical vehicle equipment

그림 2는 종래의 전기 차량의 전력 공급을 위한 릴레이 장치의 개념을 설명하기 블록도이다. 그림과 같이, 종래의 전기 차량에서 전력 공급을 위한 릴레이 장치는, 배터리, 부하, 릴레이, 및 제어부 등으로 구성되었다. 여기에서, 릴레이는 전기 자동차의 부하에 배

터리로부터 인가되는 전력의 공급과 차단을 위해 사용된다. 이때, 릴레이 양단의 전위차로 인해 릴레이의 접점에서는 강한 스파크가 발생하게 되고, 이것은 릴레이의 수명을 단축시킬 뿐만 아니라, 릴레이 주변의 전기기기에 영향을 주게 된다. 특히, 장시간 사용으로 릴레이의 접점 노후가 발생하는 경우에는 릴레이의 내부 저항값이 커지게 되며 그에 따라 배터리 시스템의 성능 저하가 발생하는 문제점이 있었다.

본 논문은 기존에 제안된 방법들의 상기와 같은 문제점들을 해결하기 위해 제안된 것으로서, 전력의 공급과 방전을 위해 사용하는 메인릴레이 이외에 병렬 접속하는 복수의 서브릴레이를 병렬 접속하여 릴레이부를 구성함으로써, 릴레이 양단의 전위차를 줄여 기존에 릴레이 양단의 전위차로 인해 발생하는 강한 스파크의 발생을 방지하고, 메인릴레이의 노화로 인해 내부 저항값이 증가하는 문제를 제1서브 릴레이를 통해 보상이 가능하며, 제2서브릴레이를 통해 부하단으로 공급되는 전력을 분산 공급되도록 함으로써, 릴레이부의 수명이 향상될 수 있도록 하는, 전기 차량의 전력 공급을 위한 릴레이 장치 및 제어방법에 대한 것이다.

III. PRA 제작

PRA는 HEV와 EV 차량에 장착되는 배터리 시스템의 전원을 차단하는 역할을 수행하며, 자동차 배터리에 대한 전원을 접속 및 차단하는 역할을 한다. PRA의 구성은 메인릴레이, 제1서브릴레이, 제2서브릴레이, 프리차지저항, 커패시터, 전류센서 등으로 구성되어 있으며, 그림 3은 PRA의 구성을 보이고 있다.

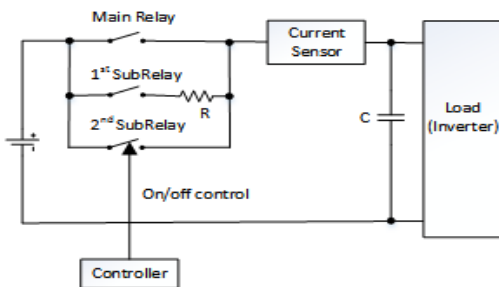


그림 3. 제안되는 릴레이 장치의 구성도
Fig. 3 Proposed circuit diagram of PRA

메인릴레이와 보조릴레이의 코일양단저항을 측정하고, 릴레이가 온 될 때까지 전원전압을 올려 릴레이 온 전압을 측정하고 또 릴레이가 오프 가능할 때까지 전압을 낮춰 릴레이 오프 전압을 측정한다. 이렇게 측정된 전압은 제어기에 임하고 그 결과에 따라 메인과 복수의 서브릴레이가 구동되어 진다.

그림 3에서 배터리는 전차량에 전력을 공급하기 위한 구성이다. 배터리는 복수의 배터리 셀들이 단위 모듈로 구성되며 전기 차량의 구동에 필요한 전원을 공급한다. 부하단은 배터리에서 인가되는 전력을 공급받아 사용하는 구성이다. 부하단은 전기차량에서 배터리에 인가되는 전력을 동력원으로 사용하는 구성으로 일례를 들면 인버터 등이 있다.

릴레이부는 배터리와 부하단 사이에 접속되어 부하단에 배터리로부터 인가되는 전력의 공급과 차단을 위해 구동하는 역할을 수행한다. 즉 릴레이부는 배터리에서 인가되는 전력을 부하단으로 공급할 때 릴레이 양단의 전위차로 인해 발생하는 접점의 열화 및 접점 노후로 인한 릴레이 내부 저항값 증가를 보상할 수 있도록 복수의 릴레이가 병렬 접속하는 구조로 구성되고 배터리에서 인가되는 전력이 부하단에 분산 공급되도록 기능하게 된다. 이러한 릴레이부는 배터리로부터 인가되는 전력의 공급과 차단의 주기능을 수행하는 메인릴레이와 병렬로 접속하며 메인릴레이 양단의 전위차를 감소시키기 위해 구동하는 제1서브릴레이 및 메인릴레이와 병렬로 접속하며 메인 릴레이의 접점 노후로 인하여 메인릴레이의 내부 저항값 증가를 보상하기 위해 구동하는 제2서브릴레이를 포함하여 구성할 수 있다. 이 때 메인릴레이는 부하단에 적합한 대용량의 릴레이로서 고전압 스위치로 기능한다. 그리고 제1 및 제2 서브릴레이는 메인릴레이보다 작은 소용량의 릴레이로 구성한다. 제1서브릴레이는 제어부의 제어하에 온 구동하여 후단에 직렬 접속하는 저항을 통해 부하단 전압이 상승되도록 한다. 즉 제1서브릴레이는 메인릴레이의 온구동 이전인 오프상태에서 제어부의 제어하에 온 구동하여 후단의 저항 R을(그림 3) 통해 부하단의 전압을 상승시키되 제어부의 제어하에 메인릴레이 양단의 전위차가 기 설정된 기준범위에 도달할 때까지 구동하고 제어부의 제어하에 턴 오프된다. 그 후 메인릴레이는 릴레이 양단의 전위차로 인해 릴레이 접점에서 발생하는 강한 스

파크가 방지될 수 있도록 제1서브릴레이가 온 구동상태에 릴레이 양단의 전위차를 줄여 턴오프된 후 릴레이 양단의 전위차가 기 설정된 기준 범위에서 제어부의 제어하에 턴온하여 구동한다.

릴레이부와 부하단 사이에는 부하단의 급격한 전력 변동에 대응하여 충전과 방전을 수행하는 커패시터가 (그림 3) 병렬 접속되어, 급격한 전력 변동에 따른 충/방전의 완충 기능을 수행할 수 있다. 제2서브릴레이는 메인릴레이의 온 동작 이후, 제어부의 제어 하에 온 구동하여 입력전압과 부하전압 간의 차이가 없는 타이밍에서만 동작함으로써 스파크로 인한 접점의 노후가 방지될 수 있도록 한다. 또한 제2서브릴레이는 메인릴레이의 구동과 함께 온 구동하여 동작함으로써 배터리에서 인가는 전력을 부하단에 분산 공급되도록 한다.

제어부는 릴레이부의 온 또는 오프의 구동을 제어하는 역할을 수행한다. 여기서 제어부는 전기 차량의 배터리를 관리하기 위한 구성으로 BMS(Battery Managing System)일 수도 있다. 제어부는 병렬접속된 메인릴레이와 제1서브릴레이 및 제2서브릴레이를 구비하는 릴레이부의 오/오프의 순서를 표 1 같이 구동되도록 제어할 수 있다.

표 1. 릴레이 구도 타이밍도
Table 1. Timing chart of relay driving

order item	op. timing1	op. timing2	op. timing3
Mainrelay	off	on	on
1st Subrelay	on	off	off
2nd Subrelay	off	off	on

III. 시제품 제작 및 시험

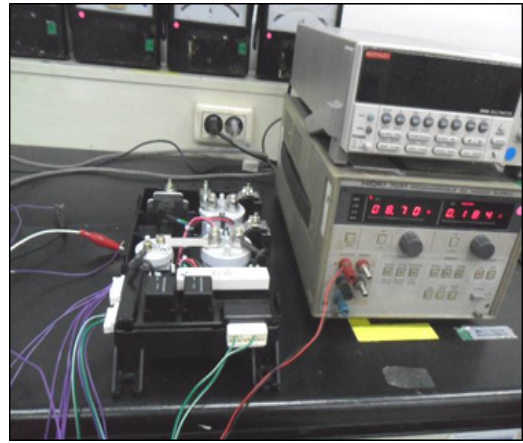


그림 4. 시제품 릴레이 테스트 현장
Fig. 4 Testing scene of prototype relay

그림 4는 본 연구에서 제작된 PRA 시제품의 전기적 특성을 시험하는 현장이다. 개발된 시제품의 정격전압은 650V이고 정격전력은 150A인 것으로 확인되었다.

시험환경은 온도는 25°C이며 시험절차는 메인릴레이와 서브릴레이의 코일양단 저항을 측정하고 릴레이가 온 될 때까지 전원전압을 올려 릴레이가 온되는 전압을 측정하고 릴레이가 오프될 때까지의 컨트롤 전압을 측정하였다. 이 때 메인릴레이의 저항은 3.14 Ω±5%, 서브릴레이는 각각 96.4Ω±5%가 나오는 것을 확인되었다. 표 2는 각각의 릴레이가 온 오프되도록 하는 제어부 전압을 나타낸다.

표 2. 릴레이 구동전압
Table 2. Voltage driving relay

Testing Item			Result (unit: V)
Relay on/off voltage	Main relay	on	8.8
		off	6.1
	1st Sub relay	on	14.5
		off	2.7
	2nd Sub relay	on	14.4
		off	2.8

다음에는 릴레이가 온 되었을 때 배터리와 부하간의 전압강하 시험을 하였다. 시험방법은 1A의 전류원을 인가한 후에 배터리와 인버터간의 전위차를 측정하였으며, 그 결과가 표 3에 나타나 있다.

표 3. 릴레이 전압강하
Table 3. Relay voltage drop

Testing Item		Result (unit:mV/A)
Voltage drop	Battery(-) ~ Inverter(-)	0.14
	Battery(+) ~ Inverter(+)	0.25

다음에는 릴레이의 전류순단시험을 하였으며 그림 5는 순단시험 입력파형을 나타낸다.

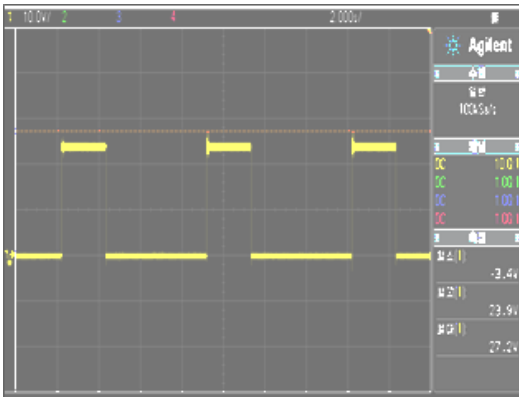


그림 5. 순단시험

Fig. 5. Instantaneous power short state

순단시험을 위해 상온의 챔버에 PRA를 넣고 메인 릴레이를 연결해서 전류센서의 전원 5V를 인가해 메인 릴레이회로에 150A를 통전하면서, 챔버의 온도를 -30°C 온도를 낮추었다. 이러한 온도에서 70시간 가량 방치한 후 다시 상온에서 2시간 방치한 후에 PRA의 동작을 확인하였다. 이와 같은 환경은 PRA의 순단 시험 뿐만 아니라 저온 동작특성에 대한 실험도 동시에 실시하는 효과를 가져올 것이다. 이러한 시험을 다수 실행한 후에도 PRA에는 개리가 없는 것으로 확인되었다.

내전압 테스트에서는 AC2,000V를 인가한 후 부품의 파손여부를 확인하였으며, 그 결과 PRA에는 이상이 없음을 확인하였다.

다음에는 PRA의 고전압부분과 PRA 바디간에 500VDC를 1분간 인가해서 시제품의 절연저항을 측정하였으며, 그 결과 측정전 $100\text{M}\Omega$ 의 절연저항이 시험후에도 그 상태를 그대로 유지하고 있는 것으로 확인되었다.

그림 6은 PRA에 사용된 전류센서의 선형성을 나타낸다. 그림에서 최적의 상태와 센서에서 나오는 실질적인 출력을 비교한 바, $\pm 1.0\%$ 미만의 범위내에서 선형성을 유지하고 있는 것으로 나타났다.

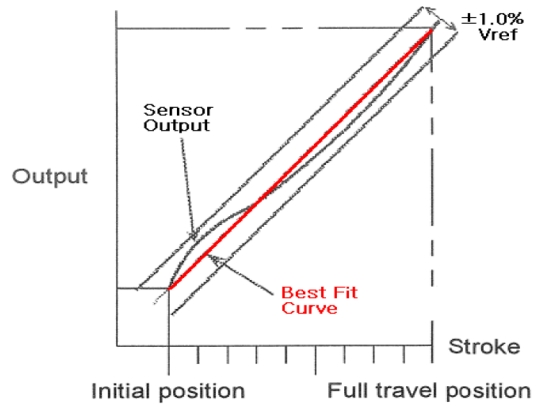


그림 6. 전류센서의 선형성

Fig. 6 Linearity of current sensor

IV. 결론

전기자동차의 배터리에서 인버터로의 동력전달장치인 릴레이의 열화현상을 막기위해 서브릴레이를 사용하였다. 서브릴레이의 사용으로 기존의 릴레이에서는 구조적으로 발생할 수 밖에 없었던 스파크현상을 제거할 수 있었다. 이러한 스파크현상은 결국 릴레이의 열화를 가져오고 내구성을 떨어뜨리는 근본적 원인이 되어왔다.

개발된 릴레이의 정격전압 및 전류는 650V와 150A로 확인되었으며 이것은 결국 릴레이의 전력전력이 약 10KW정도 된다는 것을 의미한다.

그 외에도 릴레이의 동작 시에 발생하는 전기적 특성을 확인하기 위해 다양한 시험을 했다. 즉, 릴레이가 접속되거나 차단될 때의 상태를 점검하고, 순단시험이나 내전압 및 절연저항 특성 등을 시험하였다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2016년도 산학협력력 기술개발사업(C0397143)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

- [1] J. Ralwin, "Low-power relay operating circuit," *United States Patent*, no. 5457595, Oct. 10, 1995.
- [2] J. Sn and H. Woo, "DC power relay," *United States Patent*, no. 9117605, Aug. 25, 2015
- [3] J. Hong, "Control method for electric vehicle," *United States Patent*, no. 9203255, Oct. 11, 2013.
- [4] R. Pobert, "Apparatus for recording and using down hole sensor and diagnostic events in measurement while drilling," *United States Patent*, no. 8510052, Aug. 13, 2013.
- [5] A. Kitami and T. Uechi, "Automobile having electric vehicle drive motor," *United States Patent*, no. 9203233, Dec. 1, 2015
- [6] Y. Cung, "A Study on Generalized Output Capacitor Ripple Current Equation of Interleaved Boost Converter," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 6, Dec. 2012, pp. 1429-1435.
- [7] S. Park and J. Lee, "Design of Smart off-Board Charge System for Neighborhood Electric Vehicle," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 10, Dec. 2012, pp. 1499-1504.
- [8] Y. Cung, "Design Procedures of LLC Resonant Converter for Electric Vehicle On-Board Charger," *J. of the Korea Institute of*

Electronic Communication Sciences, vol. 9, no. 1, Jan. 2014, pp. 91-96.

저자소개



채용웅(Yong-Yoong Chai)

1985년 8월 서강대학교 졸업
(공학사)

1991년 4월 Oklahoma State Univ.
졸업(공학석사)

1994년 12월 Oklahoma State Univ. 졸업(공학박사)
계명대학교 전자공학과 교수

※ 주 관심분야 : DC-DC컨버터