

상용차용 배터리 이퀄라이저 개발

최덕관*, 김종철*, 김호식*, 박재규**

*현대모비스, **현대기아자동차

Development of Battery Equalizer for Commercial Vehicle

Deok-kwan Choi*, Jong-cheol*, Ho-sik Kim*, Jae-kyu Park**

*Hyundai MOBIS, **Hyundai-Kia Motors

ABSTRACT

24V DC power system of commercial vehicle includes 28V alternator and 24V battery bank (two 12V battery bank in series). BEQ(Battery Equalizer) provides efficient and reliable 12V DC power to 12V electrical load in 24V DC power system. In addition to providing 12V DC power, BEQ ensures that battery voltages remain equal which extends battery life. It is the most cost effective and efficient solution for dual voltage systems. BEQ made by Hyundai MOBIS is specifically designed to provide reliable 12V DC power for 12V ABS(Anti-lock Brake system).

1. 서론

상용차(버스, 트럭)는 일반적으로 28V 전원 체계로써 24V 배터리(12V 배터리 2개 직렬 연결)와 28V 발전기로 구성되어 있다. 배터리 이퀄라이저(Battery Equalizer, 이하 BEQ)는 28V 상용차 전원시스템에 적용되어 크게 두 가지 기능을 한다. 첫째로 두 12V 배터리의 전압 균형을 유지시켜 배터리 손상을 최소화하여 배터리 수명 향상에 기여한다. 둘째로 추가적인 14V 전원 사용을 가능케 한다. 이는 승용차용으로 개발된 14V 전원 제품의 상용차 적용이 가능토록 한다. 당사 개발 BEQ의 주 부하는 14V ABS(Anti-lock Brake System)이다. BEQ는 14V 전원용으로 개발된 ABS에 안정적인 전원 공급을 보장한다. 본 제품의 기능 구현을 위한 토폴로지로는 Buck converter를 사용하였고, 배터리의 안정적인 충전을 위해서 정전류-정전압 충전 방식을 채택하였다. 정전류 제어는 Average Current Mode 방식을 사용하였고, 정전압 제어는 Voltage Mode with feed-forward 방식을 채택하였다. 시뮬레이션 및 시험을 통하여 제어기 안정성을 확인하였다. 자동차 신뢰성 시험 25가지 항목을 기준으로 개발 및 양산 검증을 완료하였고, 생산 적용된 사례이다.

2. 본론

2.1 시스템 분석

2.1.1 상용차 전원 시스템

24V 상용차 전원시스템은 28V 발전기와 24V 배터리 모듈

(12V 배터리를 두 개 직렬 연결)이 병렬 연결되어 28V 알터네이터가 24V 배터리 모듈을 충전시키면서 24V 전장 부하를 공급하는 구조이다. 이러한 24V 전원시스템에서 별도의 장치 없이 하단 12V 배터리(그림 1의 배터리 A)단에 부하를 연결할 경우, 하단 배터리는 방전되고, 입력 전압이 일정(28V 알터네이터 전원공급)하기 때문에 상단 배터리는 상대적으로 충전된다. 일정시간이 흐른 후에는 하단 배터리는 과 방전 되고, 상단 배터리는 과 충전 되는데, 이 상단 배터리는 과충전으로 인하여 열화되는 현상이 발생하게 된다. 이럴 경우, 12V 전원은 물론이고 24V 전원 자체도 불안정하게 된다.

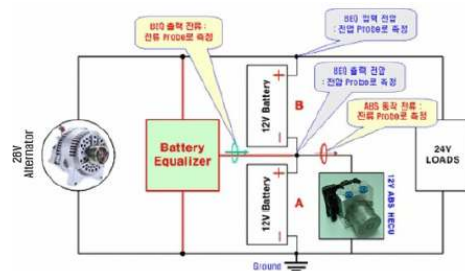


그림 1 BEQ가 장착된 상용차 전원 시스템
Fig. 1 Power system of Commercial Vehicle with BEQ

2.1.2 BEQ의 요구 성능

BEQ는 배터리 모듈과의 연결 관계로 볼 때, 직병렬 구조라고 할 수 있다. 12V 부하를 공급하는 관점에서는 24V단 전원을 12V 전원으로 변환시키기 때문에 직렬 연결이고, 배터리 전압 균형 유지의 관점에서는 상단 배터리를 방전시키면서 하단 배터리를 충전시키기 때문에 병렬 연결이라고 할 수 있다.

BEQ의 기능과 12V ABS의 안정적인 작동을 위한 BEQ의 기본적인 요구 성능은 다음과 같다.

- 1) 정전압 제어(Constant Voltage control이하, CV)
: 12V 부하< BEQ 최대 출력 전류일 때,
→ 출력전압 = 0.5*입력전압
- 2) 정전류 제어(Constant Current control이하, CC)
: 12V 부하> BEQ 최대 출력 전류(과부하 상태)일 때
→ BEQ 출력 전류 = BEQ 용량

2.1.3 ABS 작동 시의 BEQ 동작

BEQ가 장착된 상태에서 ABS 작동은 3가지 상태로 요약될 수 있다. ABS 비 작동, ABS 작동, ABS 작동 후, 이 세가지 상황에서 BEQ의 동작을 살펴보면, 일단 ABS 비 작동 시에는 12V ABS ECU 전원으로 1A 이하가 소모된다. 이때 BEQ는 ABS ECU 전원 공급과 동시에 CV 동작을 통해 배터리 전압 균형을 유지한다. ABS 작동(일반적으로 1회 작동 시에 수 십 초 정도, 그림 2 참조)시에는 12V 부하가 급격히 증가하면서 BEQ는 CC 동작을 통해 BEQ 용량만큼 ABS 동작 전류를 공급하고, 부족한 전류는 배터리 단에서 인출된다. ABS 작동 후에는 ABS 작동으로 인해 방전된 하단 배터리를 CC-CV 방식으로 충전하면서 배터리 전압 균형을 회복시킨다.

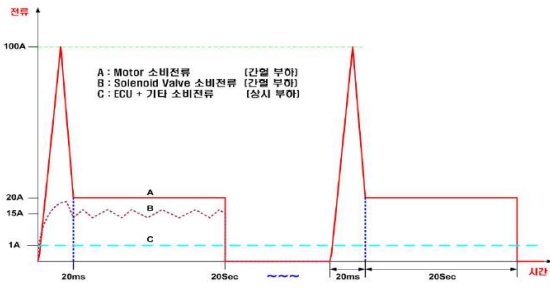


그림 2 ABS 동작시의 12V 부하
Fig. 2 12V Load Profile when ABS operate

2.2 설계 및 검증

2.2.1 Buck Converter

BEQ 기능을 구현하기 위한 토폴로지로 Buck converter를 사용하였고, 전류 제어는 인덕터 리플 전류를 이용한 Average Current Mode를 채택하였다. 그림 3의 회로에 나타난 24V, GND단의 스위치는 배터리 오접속을 방지하기 위한 용도로 쓰인다 표 1에는 설계 사양을 정리하였다.

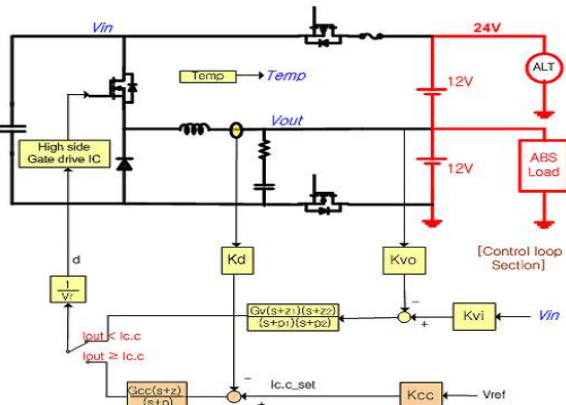


그림 3 회로 블록 다이어그램
Fig. 3 Circuit Block Diagram

표 1 설계 사양
Table 1 General Specification

항목	Min	Nor	Max
Vin	18V	28V	32V
Vout	Vin/2-2%	Vi/2	Vin/2+2%
Icc	12A	13A	14A
efficiency			92%

2.2.2 Simulation

전압 제어기 설계를 위해 Buck Converter CCM Average Model을 이용하였고, 보상은 Type-3 (2 pole, 2 zero) 보상기를 사용하였다. 아래는 시뮬레이션 회로 및 결과이다.

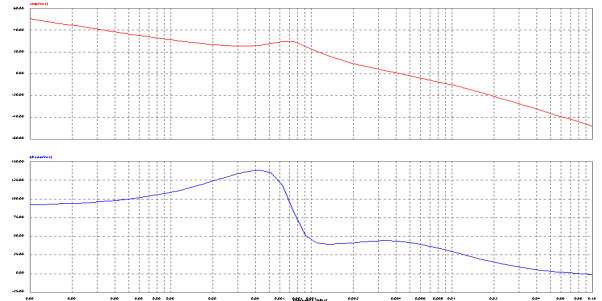
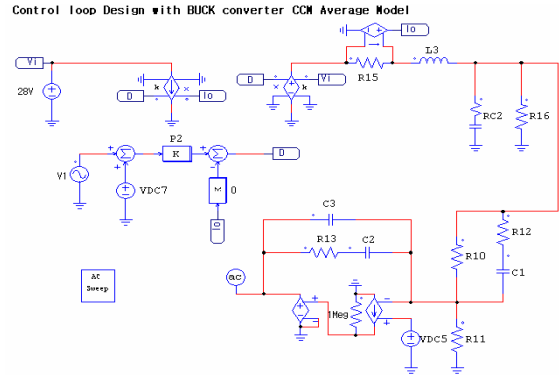


그림 4 주파수 응답 시뮬레이션 (PSIM 6.0)
Fig. 4 Frequency Response Simulation (PSIM 6.0)

2.2.3 Frequency Response Analyzer

전압 제어기의 주파수 응답 특성을 측정하였다. 측정 결과는 아래와 같다.

- 스위칭 주파수 : 100kHz
- 측정 범위 : 10 ~ 100kHz
- 차단 주파수 (측정) : 4.2 kHz
- Phase Margin (측정) : 90 deg
- Gain Margin (측정) : 28.6 dB

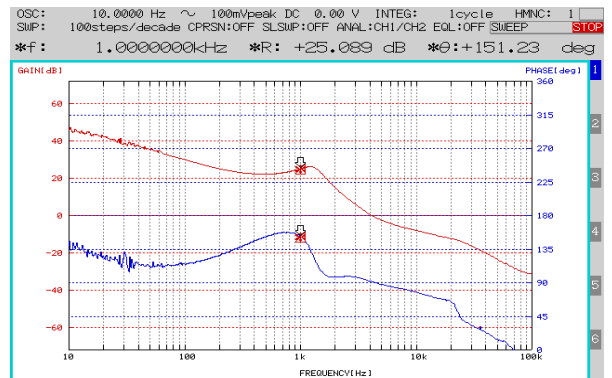


그림 5 주파수 응답 분석 파형 (장비명 : FRA5097, NF[日])
Fig. 5 Frequency Response Analyzer (FRA5097, NF[Japan])

보상기는 제어 안정성에 중점을 두어 설계하였고, BEQ 동작 범위(입력전압 및 부하)에 대하여 개별적으로 점검하였다.

2.3 제작 및 시험

2.3.1 제작

필터, 인덕터를 비롯한 파워부 소자는 PCB 전면에 배치하였고, 스위칭 소자는 Metal PCB를 이용하여 케이스로 방열하였다. 후면부에는 제어 회로를 배치하여 파워부의 노이즈 영향을 최소화 하였다. 그림 6은 제작된 BEQ PCB 및 케이스 사진이다. BEQ의 장착 위치를 감안하여 케이스 및 커넥터는 완전 방수 규격을 만족하도록 설계, 제작되었다.

ABS는 운전자의 안전과 관계된 제품이기 때문에 고신뢰성을 요구한다. BEQ는 ABS의 동작을 보장해야 하기 때문에 ABS와 동등한 신뢰성 기준으로 제작, 시험되었다.



그림 6 배터리 이퀄라이저
Fig. 6 Battery Equalizer

2.3.2 실차 시험

자동차 환경 신뢰성 시험을 실시한 후, 실차 시험을 통한 최종 제품 검증을 실시하였고, 그림 7은 시험 결과 파형(측정위치 : 그림 1 참조)으로 ABS 작동 전 BEQ는 CV 모드로 배터리 전압 균형을 보증하고, ABS 작동 시에는 CC 모드로 출력 전류를 제한한다. ABS 작동 후에는 CC-CV 충전을 통해 배터리 전압 균형을 재회복시킨다.

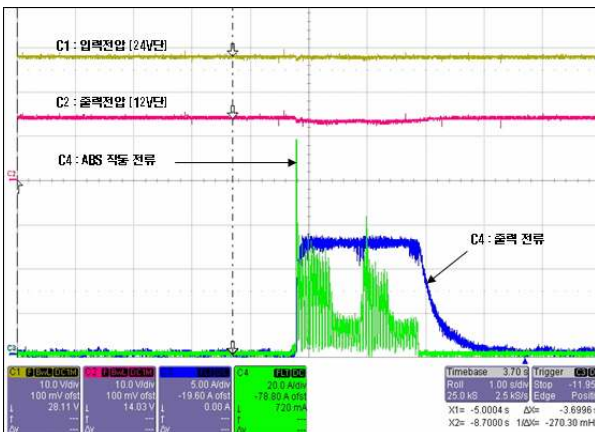


그림 7 ABS 작동시의 각 부 파형
Fig. 7 Waveforms when ABS operates

3. 결론

현대모비스에서 개발한 BEQ는 상용차 24V 전원 시스템에 적용되어 안정적인 12V 전원 공급을 보장한다.

시스템 분석을 통해 회로 설계안을 도출하였고, 시뮬레이션을 통한 사전 검증을 하였다. 자동차 환경 신뢰성 시험 및 실차 시험을 통해 최종 검증 후 양산 적용된 제품이다.

자동차에서 전자전기 장치가 증가함에 다양한 용도로 전력 변환 장치의 수요가 증가하고 있는 추세이다. 특히나 하이브리드 전기 자동차 및 연료전지 자동차에는 대용량의 전력변환 장치가 적용된다. 고 신뢰성을 요구하는 자동차 환경 하에서 전력 변환 장치의 양산 적용을 위해서 중점을 두어 할 연구 분야는 아래와 같다.

1. EMI 필터 최적 설계
2. 패키징 기술 : 진동, 고온 환경하의 신뢰성 확보
3. 디지털 제어 : 부품수 감소, 사이즈 축소 및 원가 절감, 차량 네트워크 통신

이 논문은 현대기아자동차의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Ziyad M. Saiameh, "A Mathematical Model for Lead-Acid Batteries" IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.7, No.1, March 1992
- [2] L. Dixon, "Control Loop Design" Nitrode Switching Regulated Power Supply Design Seminar Manual, SEM800,1991
- [3] W.H. Lei, T.K. Man, "A General Approach for Optimizing Dynamic Response for Buck Converter" Onsemiconductor, AND8143/D, 2004
- [4] L. Dixon, "Average Current Mode Control of Switching Power Supplies" Nitrode application note U-140
- [5] Sam Ben-Y aakov, "Average Simulation of PWM Converters by Direct Implementation of Behavioral Relationships" IEEE, 1993