

MPC5553 DSP 기반의 전기버스 전장시스템용 3kW급 절연형 DC/DC 컨버터의 설계

김기만*, 이승경*, 박상훈*, 이정효*, 이상석**, 원충연*
 성균관대학교*, (주)팩테크**

3kW-Isolated DC/DC Converter Design based on MPC5553 DSP for EV Bus Electronic System

Ki-Man Kim*, Seung-Kyung Lee*, Sang-Hoon Park*, Jung-Hyo Lee*, Sang-Suck Lee**, Chung-Yuen Won*
 Sungkyunkwan University* PAC-Tech**

ABSTRACT

본 논문에서 설계한 3kW급 절연형 DC/DC 컨버터는 전기 버스의 주 동력원인 고전압 배터리로부터 차량의 전장시스템에 저전압 전원을 공급한다. 이 전력변환에는 고전압 배터리측과 저전압 배터리측의 절연이 반드시 필요하기 때문에 고주파 변압기를 사용한 절연형 DC/DC 컨버터가 일반적으로 사용된다. 따라서 ZVS 동작이 가능한 위상천이 방식의 풀-브리지 컨버터를 선정하였다. 본 논문에서 사용된 전력변환장치는 차량시스템에 적용하기 적합한 프리스케일사의 32-Bit DSP인 MPC5553 기반의 제어기를 이용한 실험을 통해 타당성을 검증하였다.

1. 서론

최근 산업전반에 걸쳐 대기오염, 화석연료의 고갈 및 유가 상승으로 인하여 친환경 시스템에 대한 연구 개발이 가속화되고 있다. 이 중 대기오염의 주요 발생원인인 화석연료의 막대한 양을 사용하고 있는 자동차 산업분야에서 친환경 자동차의 개발에 대한 필요성이 크게 증가하고 있다.

화석연료를 사용하는 내연기관을 대체할 차세대 친환경 자동차의 주요 동력원으로 대용량의 배터리시스템이 사용된다. 본 논문에서는 전기자동차에 사용되는 대용량의 고전압 배터리로부터 차량의 전장 시스템에 전력을 공급하기 위한 저전압 배터리를 안정적으로 충전할 수 있는 전력변환장치 설계를 다루었다. 설계된 전력변환장치는 고전압 배터리측과 저전압 배터리측이 하드웨어적으로 절연가능하고, ZVS 동작이 가능한 위상천이 방식의 풀-브리지 컨버터를 사용하였다.^{[1]~[3]}

본 논문에서 설계한 컨버터는 차량 시스템에 주로 사용되는 프리스케일사의 32-Bit DSP인 MPC5553으로 구성된 제어기를 사용하여 실험을 통해 그 타당성을 검증하였다.

2. 시스템의 개요

전기자동차에 사용되는 모든 전장시스템의 전력은 주 동력원인 고전압 배터리로부터 필요한 전원을 공급받는다. 따라서 차량 시스템의 고 전압측과 저 전압측간에 절연이 반드시 필요하다. 그러므로 본 논문에서는 입력전압 범위가 260~420[V]인 고전압 배터리로부터 출력전압 범위가 16~32[V] 저전압 배터리를

상시 충전하기 위한 토폴로지로서 위상천이 방식의 풀-브리지 컨버터를 적용하여 시스템을 설계하였다.

다음의 그림 1은 본 논문에서 적용한 위상천이 방식의 풀-브리지 컨버터를 이용하여 설계한 전기버스 전장시스템용 3[kW]급 충전장치의 전체 구성을 나타낸 그림이다.

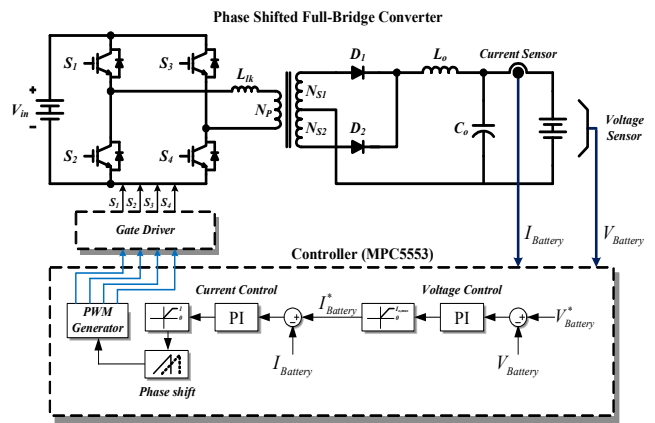


그림 1 전기버스 전장시스템용 3kW급 절연형 DC/DC 컨버터의 구성
 Fig. 1 Configurations of 3kW-isolated DC/DC converter for EV Bus electronics system.

3. 시스템의 주요 설계

3.1 고주파 변압기 설계

본 논문에서 설계한 컨버터의 변압기는 2차측을 중간 탭 방식으로 설계하였다. 중간 탭 방식을 사용하여 대 전류를 의한 출력단 정류다이오드의 도통손실을 저감하였다. 이와 함께, 대 전류를 순환하기 위한 정류다이오드의 개수를 줄임으로서 공간상의 제약에 따른 문제 및 원가 절감을 문제를 해결할 수 있다.

본 논문에서 설계한 변압기의 주요 사양은 표 1에 정리하였다.

표 1 고주파 변압기의 설계 사양
 Table 1 Parameters of high frequency transformer.

항목	설계 사양	
스위칭 주파수	16[kHz]	
변압기	자화 인덕턴스	1.36[mH]
	누설 인덕턴스	6.1[μH]
	권수비	$N_p : N_{S1} : N_{S2} = 17 : 3 : 3$
	코어	EE 7091B

3.2 디지털 제어기 설계

본 논문에서는 차량의 전장시스템에 전력을 공급하는 배터리의 출력전압과 전류를 제어하기 위해 그림 1의 점선으로 표기된 부분과 같이 제어기를 구성하였다. 구성된 제어기는 MPC5553의 eMIOS(enhanced Modular Input/Output System)의 OPWM(Output Pulse Width Modulation Mode)를 사용하여 위상천이 방식을 구현하였다. 또한, eTPU(enhanced Timer Process Unit)를 사용하여 DC-Link의 과전압 및 저전압, 출력 과전류, 온도 검출 등의 보호기능 등을 구현하였다.

4. 실험 결과

본 논문에서는 표 2와 같은 사양을 갖는 위상천이 방식의 풀-브리지 컨버터를 MPC5553 DSP 기반의 제어기를 사용하여 실험을 수행하였다.

표 2 위상천이 풀-브리지 DC-DC 컨버터 사양
Table 2 Specifications of Phase Shifted Full-Bridge DC/DC converter.

항목	사양 및 성능	
입력전압	260~420[V]	
최대출력 (3kW)	전압	정격 24[V]
	전류	최대 125[A]
보호기능	과전압, 저전압, 과전류, 과온도 등	



그림 2 위상천이 풀-브리지 DC-DC 컨버터 실험세트
Fig. 2 Experimental setup of PSFB DC-DC converter.

그림 2는 차량에 취부 될 전체 하드웨어 블록(인버터와 제어기 포함) 중 본 논문에서 설계한 컨버터부분을 표기한 전체 실험 세트이다.



그림 3 변압기 1차측 전압과 전류, 인덕터 전류, 입·출력 전압과 출력 전류 실험 파형
Fig. 3 Experimental waveform of transformer primary voltage and current, inductor current, input and output voltage and output current.

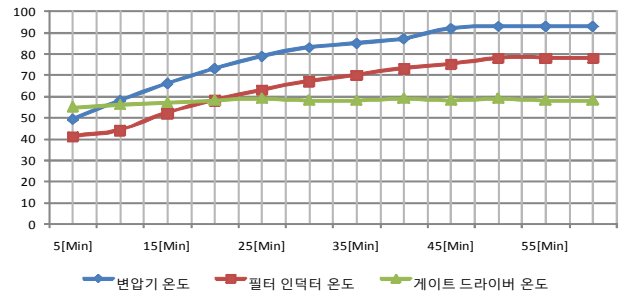


그림 4 전 부하 시 변압기, 필터 인덕터 그리고 게이트 구동부의 온도 특성 곡선

Fig. 4 Temperature characteristic curves of transformer, filter inductor and gate driver at full load.

그림 3은 전 부하 시(출력 전류 125[A]) 입력전압 260[V]를 인가하여 출력전압 24[V]로 컨버터를 제어할 때, 시스템 각 부를 측정된 실험 결과 파형이다.

그림 4는 설계한 변압기와 필터 인덕터 그리고 게이트 구동부에 대한 전 부하 연속 동작 시 온도 특성을 나타낸 곡선이다. 전 부하 운전 시 컨버터의 연속동작이 30분이고, 변압기와 필터 인덕터의 경우 최대 허용 온도가 각각 160 C와 145 C인 것을 감안한다면 시스템이 안정적으로 동작함을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 차량용에 적합한 DSP인 프리스케일 사의 MPC5553을 이용하여 전기버스의 전장시스템에 전력을 공급하는 컨버터 시스템을 설계하였다. 설계된 컨버터는 전 부하 운전 실험과 온도 테스트를 통해 성능을 검증하였다.

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원 인력양성사업의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] Guan-Chyun Hsieh, Jung-Chien Li, Ming-Huei Liaw, Jia-Perng Wang and Tsai-Fu Hung, "A study on full-bridge zero-voltage-switched PWM converter: design and experimentation," *Industrial Electronics, Control and Instrumentation*, Vol. 2, pp. 1281~1285, 1993.
- [2] Chen, W., Lee, F. C., Jovanovic M. M. and Sabate J. A., "A comparative study of a class of full bridge zero-voltage-switched PWM converters," *Applied Power Electronics Conference and Exposition*, Vol. 2, pp. 893~899, 1995.
- [3] Guichao Hua, Fred C. Lee, Milan M. Jovanovic, "An improved full-bridge zero-voltage-switched PWM converter using a saturable inductor," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 8, No. 4, pp. 530~534, October 1993.