

전기자동차용 OBC 일체형 1.5kW급 LDC 컨버터에 대한 연구

김형식*, 전준혁**, 김희준***, 안준선****

A Study on OBC Integrated 1.5kW LDC Converter for Electric Vehicle.

Hyung-Sik Kim*, Joon-Hyeok Jeon**, Hee-Jun Kim***, Joon-Seon Ahn****

요약 PHEV(Plug in Hybrid Electric Vehicle)와 BEV(Battery Electric Vehicle)는 모터 및 차량 전장 시스템의 구동을 위하여 고전압 배터리를 사용하며 이를 충전시켜주는 OBC(On-Board Charger)와 고전압에서 저전압으로 전력변환을 해주는 LDC(Low DC/DC Converter)가 반드시 필요하다. OBC와 LDC는 차량에 독립적인 시스템으로 동작 하며 개별 공간을 사용하기 때문에 이를 통합한 시스템을 활용하여 무게 및 사용 공간 확보에 대한 필요성이 대두되고 있다. 본 논문은 LDC 트랜스포머의 설계를 단순화하여 절연형 전류원 컨버터를 사용한 OBC에 통합이 가능한 1.5kW급 LDC컨버터에 대하여 제안하였다. 제안된 LDC는 양방향 벡-부스트 컨버터의 고정된 임의의 출력 전압을 사용하여 LDC의 최종 출력 전압의 제어가 가능하기 때문에 기존의 OBC-LDC 통합 시스템과 비교하여 배터리 전압 사용 범위, 컨버터의 Duty Ratio 및 OBC의 출력 턴 비를 고려한 트랜스포머 설계에 대한 부분을 단순화 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 제안된 LDC의 시제품을 제작하여 200V ~ 400V의 입력 전압에서 정상 동작을 확인 하였으며 정격 부하 조건에서 최대 효율 91.885%를 달성 하였다. 또한 OBC-LDC통합 시스템 구축을 통해 약 6.51L의 부피를 달성 하였으며 기존 독립적인 시스템에 비해 15.6% 저감되어 공간 확보에 대한 이점을 확인 할 수 있었다.

Abstract PHEV(Plug in Hybrid Electric Vehicle) and BEV(Battery Electric Vehicle) equip high voltage batteries to drive motor and vehicle electric system. Those vehicle require OBC(On-Board Charger) for charging batteries and LDC(Low DC/DC Converter) for converting from high voltage to low voltage. Since the charger and the converter actually separate each other in electrical vehicles, there is a margin to reduce the vehicle weight and area of installation by integration two systems. This paper studies a 1.5kW LDC converter that can be integrated into an OBC using an isolated current-fed converter by simplifying the design of LDC transformers. The proposed LDC can control the final output voltage of the LDC by using a fixed arbitrary output voltage of the bidirectional buck-boost converter, so that Compared to the existing OBC-LDC integrated system, it has the advantage of simplifying the transformer design considering the battery voltage range, converter duty ratio and OBC output turn ratio. Prototype of the proposed LDC was made to confirm normal operation at 200V ~ 400V input voltage and maximum efficiency of 91.885% was achieved at rated load condition. In addition, the OBC-LDC integrated system achieved a volume of about 6.51L and reduced the space by 15.6% compared to the existing independent system.

Key Words : Current-fed, Integrated, LDC, OBC, Transformer

1. 서론

최근 지구 온난화 현상과 이상기후 현상으로 인한

온실 가스 배출에 대한 규제가 강화되고 있으며 이에 따른 친환경차에 대한 보급이 빠르게 증가하고 있다[1][2].

*Department of Electronic Systems Engineering, Hanyang University(lhkhs1@hanyang.ac.kr)

**Corresponding Author : Department of Electronic Systems Engineering, Hanyang University
 (Joonhyeok91@hanyang.ac.kr)

Received June 27, 2019

Revised August 23, 2019

Accepted August 25, 2019

대표적인 친환경차로는 HEV(Hybrid Electric Vehicle), PHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle), BEV(Battery Electric Vehicle)가 있으며 배터리 및 전력변환장치의 성능 향상으로 인하여 PHEV 및 BEV에 대한 기술 개발이 가속화 되고 있다[1][2][3].

PHEV와 BEV는 모터 구동 및 차량 시스템에 에너지를 공급하는 400V급의 고전압 대용량 배터리팩을 사용하기 때문에 계통 전원을 사용하여 배터리팩을 충전 시킬 수 있는 OBC(On-Board Charger)가 필요하며 차량의 헤드램프, 전조등 및 오디오 시스템과 같은 전장품의 전원 및 이를 보호하는 12V 배터리의 충전을 위하여 250V ~ 400V의 배터리 전압을 14.4V의 저전압으로 변환해 주는 LDC(Low DC-DC Converter)가 필요하다[3][4][5][6].

그림 1에 일반적으로 사용되고 있는 OBC 및 LDC를 나타내었다. 그림 1(a)의 OBC는 가로 273mm, 세로 200mm, 높이 100mm, 5.46L의 부피를 가지고 있으며, 그림 1(b)의 LDC는 가로 310mm, 세로 130mm, 높이 56mm, 약 2.26L의 부피를 가진다[7][8].

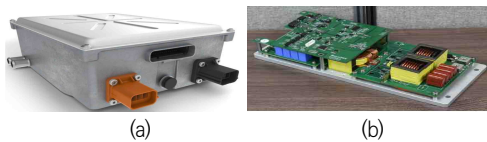


그림 1. OBC(a) 및 LDC(b) 시스템의 기본구성
Fig. 1. Basic configuration of OBC(a) and LDC(b) systems

이러한 OBC 및 LDC 시스템은 차량 내부에서 독립적인 공간을 사용하고 있기 때문에 그림 2(a)와 같이 방열판, 하우징, 커넥터 등으로 구성된 기구부를 통합한 형태 또는 그림 2(b)와 같이 기구부 및 회로부를 통합한 형태의 OBC-LDC 통합 시스템으로 연구가 진행 되고 있으며 기존 독립적인 시스템과 비교하여 무게, 부피, 차량 내부 공간 확보 및 원가를 절감할 수 있는 장점이 있다 [9][10][11][12].

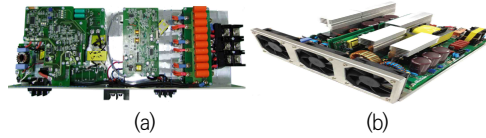


그림 2. OBC, LDC 기구부 통합 시스템(a) 및 회로부 통합 시스템(b)의 구성

Fig. 2. Configuration of OBC, LDC mechanism integrated system(a) and circuit integrated system(b)

기존의 OBC-LDC 기구부 및 회로부를 통합한 시스템에서 OBC는 비절연형 PFC(Power Factor Correction) 컨버터와 절연형 DC/DC컨버터로 구성 되어 있으며 LDC는 절연형 DC/DC컨버터에 사용되는 트랜스포머를 사용하는 통합 구조로 이루어져 있다. OBC의 비절연형 PFC 컨버터의 출력전압이 고정 전압이기 때문에 절연형 DC/DC컨버터의 Duty 및 트랜스포머의 입출력 턴 비에 따라 배터리에 인가되는 출력 전압 범위가 결정되며 배터리 전압을 입력 전압으로 사용하는 LDC는 250V ~ 400V의 배터리 전압 사용 범위, 컨버터의 Duty Ratio 및 OBC의 출력 턴 비를 고려한 트랜스포머의 설계가 필요하다. 따라서 전체 OBC-LDC 통합 시스템을 설계하기 위해선 OBC와 LDC를 모두 만족하는 트랜스포머를 설계해야 하는 단점이 있다 [10][13][14].

본 논문에서는 LDC 트랜스포머의 설계를 단순화하여 절연형 전류원 PFC 컨버터를 사용한 OBC에 통합이 가능한 1.5kW급 LDC에 대해서 제안 하였다.

제안된 LDC는 입력에 양방향 벡-부스트 컨버터를 사용하여 200V ~ 400V의 배터리 입력 전압을 400V이상의 고정된 임의의 출력 전압으로 승압 할 수 있으며 절연형 DC/DC 컨버터의 Duty를 항상 고정으로 사용하도록 설계 하였다. 따라서 출력 양방향 벡-부스트 컨버터의 출력 전압을 조정하여 LDC의 최종 출력 전압을 제어하는 설계가 가능하며 기존 OBC-LDC 통합 시스템에서 요구되어지는 배터리 전압 사용 범위, 컨버터의 Duty Ratio 및 OBC의 출력 턴 비를 고려한 트랜스포머의 설계와 비교하여 트랜스포머의 설계를 단순화 할 수 있다.

제안된 LDC의 시제품을 통해서 200V ~ 400V의 입력 전압 범위에서 정상 동작을 확인 하였으며 정

격 부하 에서 최대 효율 91.885%를 달성 하였다. 또한 절연형 전류원 PFC 컨버터를 사용하여 OBC-LDC통합 시스템을 구축 시 가로 305mm, 세로 305mm, 높이 70mm, 약 6.51L의 부피를 가진 시스템을 만들 수 있어 기존 독립적으로 사용되고 있는 시스템과 비교하여 약 15.6%의 부피를 줄여 공간 확보에 이점을 확인하였다.

2. 시스템 구성 및 동작 원리

그림 3은 기존의 절연형 전류원 컨버터를 사용한 OBC시스템의 기본 구성을 나타냈으며 그림 4는 제안된 시스템의 LDC의 기본 구성을 나타내었다.

제안된 LDC는 양방향 벡-부스트 컨버터 위상 천이 ZVS(Zero Voltage Switching) 풀 브릿지 컨버터, 2차단 정류기와 LC필터로 구성되어 있으며 200V ~ 400V의 배터리 전압을 양방향 벡-부스트 컨버터를 사용하여 540V로 승압 후 위상 천이 ZVS 풀 브릿지 컨버터와 OBC에서 사용한 트랜스포머를 통해 14.4V의 저전압을 생성하여 차량 전장 시스템의 전원 및 이를 보조하는 12V 배터리의 충전 전압으로 사용하게 된다. 여기서 540V 전압은 OBC에 사용된 트랜스포머 입출력 턴 비(1:1)에 맞춰 설계된 LDC 트랜스포머의 입 출력 턴 비(36:1)를 사용하여 14.4V의 출력전압을 얻기 위한 고정된 전압이다.

배터리 입력 전압, 입력 전류, 양방향 벡-부스트 컨버터의 출력전압, 위상 천이 ZVS 풀 브릿지의 출력 전압, 출력 전류를 센싱 받아 양방향 벡-부스트의 출력 전압을 조정하여 최종 출력 전압을 제한한다. 또한 OBC의 트랜스포머, 2차 정류부 및 동기정류 벡 컨버터 부분에 대해서 회로 공유가 가능하기 때문에 OBC-LDC통합 시스템을 구축 할 수 있다.

제안된 시스템의 최적 제어를 위해 차량에서 많이 사용되는 120MHz의 연산능력을 가진 NXP사의 MPC5643L DSP 소자를 사용하여 디지털 제어를 하였다.

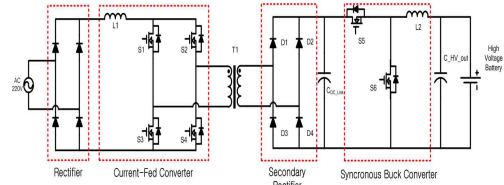


그림 3. 절연형 전류원 컨버터를 사용한 OBC 시스템의 기본구성
Fig. 3. Basic configuration of OBC system using Isolated Current-Fed Converter

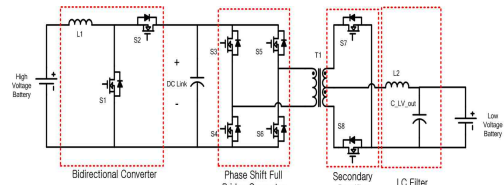


그림 4. 제안된 LDC의 기본 구성
Fig. 4. Basic configuration of proposed LDC

2.1 양방향 벡-부스트 컨버터

그림 5에 양방향 벡-부스트 컨버터의 회로를 나타내었다. 두 개의 스위치로 구성되어 있으며 LDC를 사용할 경우 부스트 컨버터로 동작한다.

배터리 입력 전압을 540V의 V_{dc} 전압으로 변환하는 역할을 하며 Duty에 따라서 V_{dc} 의 전압의 가변이 가능하다.

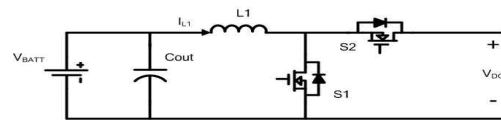


그림 5. 양방향 벡-부스트 컨버터 회로도
Fig. 5. Bidirectional Buck-Boost Converter Circuit Diagram

그림 6과 그림 7에 양방향 벡-부스트 컨버터의 정상 상태 동작 모드 및 동작 파형을 나타내었다.

Mode 1($t_0 \sim t_1$) : S1 ON, S2 OFF

스위치 S1이 턴 온 되면 Battery단 입력 V_{BATT} 로부터 전류가 L1을 통하여 에너지를 축적한다. 이때 L1에 흐르는 전류는 다음과 같이 나타내어진다.

$$i_{L1}(t) = i_{L1}(t_0) + \frac{V_{BATT}}{L_1}(t - t_0) \quad (1)$$

Mode 2($t_1 \sim t_2$) : S1 OFF, S2 Body ON

스위치 S1이 턴 오프 되면 L1에 축적된 에너지가 S2의 Body 다이오드를 통하여 출력으로 방출한다. 이 때 L1에 흐르는 전류는 다음과 같다.

$$i_{L1}(t) = i_{L1}(t_1) + \frac{V_{BATT} - V_{DC}}{L_1}(t - t_1) \quad (2)$$

Mode 3($t_2 \sim t_3$) : S1 OFF, S2 ON

L1에 축적된 에너지가 스위치 S2의 Body 다이오드를 통하여 출력으로 방출하는 동안 스위치 S2가 턴 온 되며 ZVS(Zero Voltage Switching)한다. 이 때 L1에 흐르는 전류는 수식(2)와 같으며 S2의 Body가 아닌 S2를 통하여 출력으로 에너지를 방출한다.

Mode 4($t_3 \sim t_4$) : S1 OFF, S2_Body ON

S2가 턴 오프 된 후 L1에 축적된 에너지가 S2의 Body를 출력으로 방출한다. 이 때 L1에 흐르는 전류는 수식(2)와 같다.

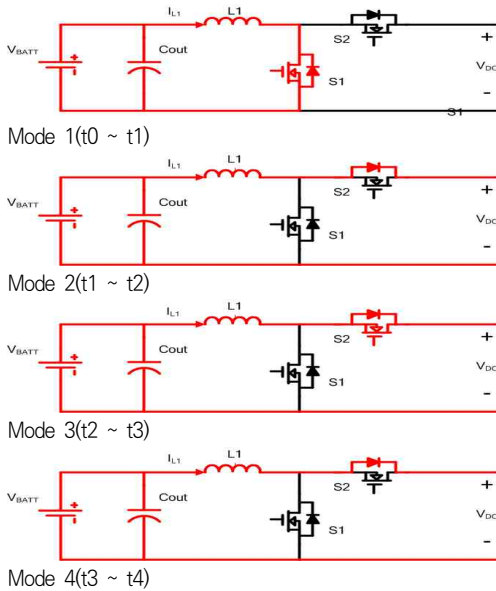


그림 6. 양방향 벡-부스트 컨버터의 동작 모드
Fig. 6. Operation Mode of Bidirectional Buck-Boost Converter

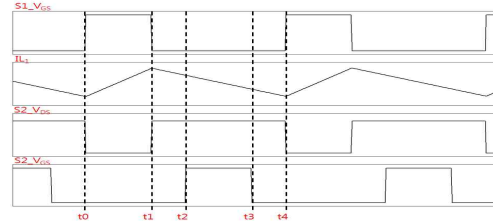


그림 7. 양방향 벡-부스트 컨버터의 동작 파형
Fig. 7. Operation Waveform of Bidirectional Buck-Boost Converter

2.2 위상 천이 ZVS 풀 브릿지 컨버터

그림 8에 위상 천이 ZVS 풀 브릿지 컨버터의 회로도를 나타내었다.

회로 구성은 1차측은 네 개의 스위치로 구성되어 있으며 2차측은 센터 탭 방식의 동기 정류회로로 구성되어 있다. 동작 시 ZVS 스위칭이 가능하기 때문에 대전력을 사용하는 어플리케이션에 많이 사용되고 있다.

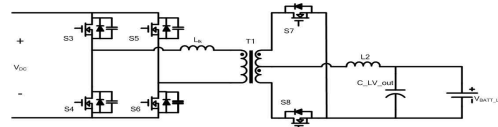


그림 8. 위상 천이 ZVS 풀 브릿지 컨버터 회로도
Fig. 8. Circuit Diagram of Phase shift ZVS Full Bridge Converter

그림 9와 10에 위상 천이 ZVS 풀 브릿지 컨버터의 정상 상태 동작 모드 및 동작 파형을 나타내었다.

Mode 1($t_0 \sim t_1$) : S3 ON, S6 ON, S8

스위치 S3, S6이 턴 온 되어 V_{DC} 단의 전류가 트랜스포머 T1, 2차측 인덕터 L2. 2차측 스위치 S8을 통하여 V_{BATT_LV} 로 흐른다.

이 때 T1에 흐르는 전류 I_{pri} 는 다음과 같이 나타내어진다.

$$i_{pri}(t) = \frac{N_s}{N_p} (i_o - \frac{V_o}{2L_2}(0.5 - D_T)T_s) - I_{Lm-Peak} \quad (3)$$

위의 수식에서 D_T 는 트랜스 포머 양단에 전압이 인가되어 전류의 흐름이 1차에서 2차로 전달되는 유효 구간을 나타낸다.

Mode 2($t_1 \sim t_2$) : S3 ON, S5_Body ON, S7_Body ON, S8_Body ON

스위치 S6이 턴 오프 되면 S6의 기생 커패시턴스는 충전하게 되며 S5의 기생 커패시턴스는 방전한다. S5의 기생 커패시턴스의 방전이 끝난 후 Body 다이오드를 통해 전류가 흐른다. 이 때 스위치 S5가 턴 온 되며 ZVS 하게 되며 1차측의 전류 흐름은 2차측으로 넘어가지 않고 환류하기 시작한다. 2차측은 L2에 축적된 에너지를 방출한다. T1에 흐르는 전류 I_{Pr} 는 다음과 같다.

$$i_{pri}(t) = \frac{N_s}{N_p} \left(i_o - \frac{V_o}{2L_2} (2D - D_T - 0.5) T_s \right) + I_{LM-Peak} \quad (4)$$

Mode 3($t_2 \sim t_3$) : S3 ON, S5 ON, S7_Body ON, S8_Body ON

Mode 2에서 스위치 S5가 턴 온 된 후 1차측 전류는 환류 하며, 2차측 전류는 L2에 축적된 에너지를 계속 방출한다.

Mode 4($t_3 \sim t_4$) : S4_Body ON, S5 ON, S7 ON

스위치 S3이 턴 오프 되면 S3의 기생 커패시턴스는 충전하게 되며 S4의 기생 커패시턴스는 방전한다. S4의 기생 커패시턴스의 방전이 끝난 후 Body 다이오드를 통해 전류가 흐른다. 이 때 스위치 S4가 턴 온 되며 ZVS 하게 되며 V_{DC} 단의 전류가 트랜스포머 T1, 2차측 인덕터 L2, 2차측 스위치 S7을 통하여 V_{BATT_LV} 로 흐르기 시작한다.

Mode 5($t_4 \sim t_5$) : S4 ON, S5 ON, S7 ON

스위치 S4, S5턴 온 되어 V_{DC} 단의 전류가 트랜스포머 T1, 2차측 인덕터 L2, 2차측 스위치 S7을 통하여 V_{BATT_LV} 로 흐른다.

이 때 T1에 흐르는 전류 I_{Pr} 는 Mode 1의 수식과 같으며 방향은 반대이다.

Mode 6($t_5 \sim t_6$) : S4 ON, S6_Body ON, S7_Body ON, S8_Body ON

스위치 S5가 턴 오프 되면 S5의 기생 커패시턴스는 충전하게 되며 S6의 기생 커패시턴스는 방전한다. S6의 기생 커패시턴스의 방전이 끝난 후 Body 다이오드를 통해 전류가 흐른다. 이 때 스위치 S6이 턴 온 되며 ZVS 하게 되며 1차측의 전류 흐름은 2차측으로 넘어가지 않고 환류하기 시작한다. 2차측은 L2에 축적된 에너지를 방출한다. T1에 흐르는

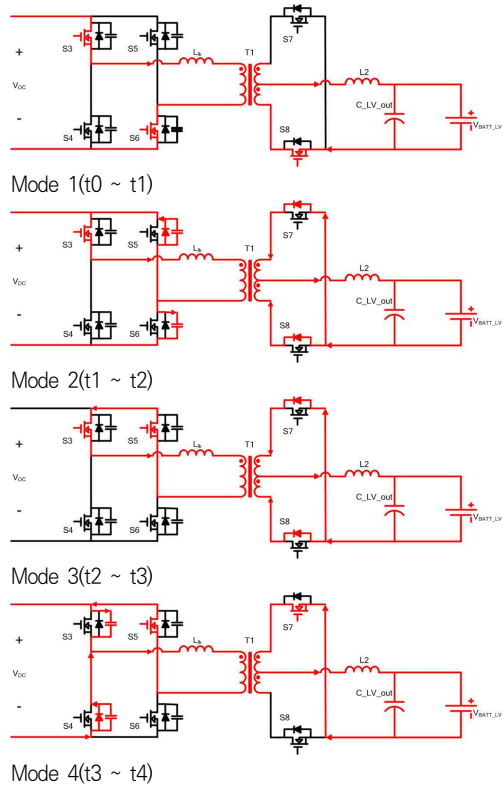
전류 I_{Pr} 는 Mode 2와 같으며 방향은 반대이다.

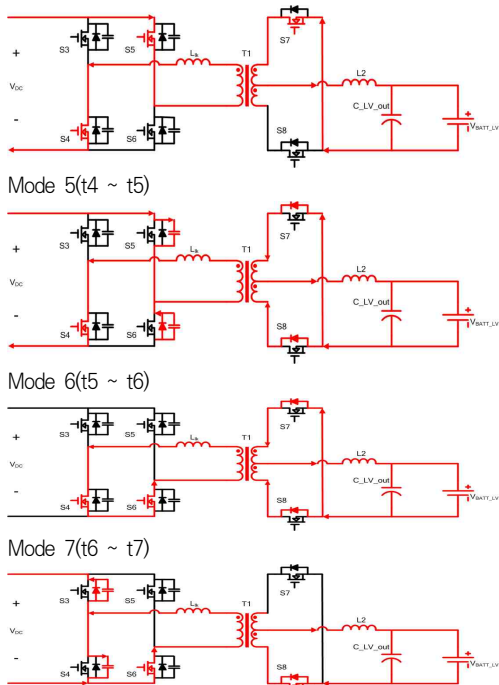
Mode 7($t_6 \sim t_7$) : S4 ON, S6 ON, S7_Body ON, S8_Body ON

Mode 6에서 스위치 S6이 턴 온 된 후 1차측 전류는 환류 하며, 2차측 전류는 L2에 축적된 에너지를 계속 방출한다.

Mode 8($t_7 \sim t_8$) : S3_Body ON, S6 ON, S8 ON

스위치 S4가 턴 오프 되면 S4의 기생 커패시턴스는 충전하게 되며 S3의 기생 커패시턴스는 방전한다. S3의 기생 커패시턴스의 방전이 끝난 후 Body 다이오드를 통해 전류가 흐른다. 이 때 스위치 S3가 턴 온 되며 ZVS 하게 되며 V_{DC} 단의 전류가 트랜스포머 T1, 2차측 인덕터 L2, 2차측 스위치 S8을 통하여 V_{BATT_LV} 로 흐르기 시작한다.





Mode 5(t4 ~ t5)
Mode 6(t5 ~ t6)
Mode 7(t6 ~ t7)
Mode 8(t7 ~ t8)
그림 9. 위상 천이 ZVS 풀 브릿지 컨버터의 동작 모드
Fig. 9. Operation Mode of Phase Shift ZVS Full Bridge Converter

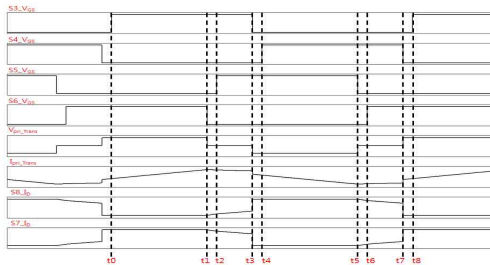


그림 10. 위상 천이 ZVS 풀 브릿지 컨버터의 동작 파형
Fig. 10. Operation Waveform of Phase Shift ZVS Full Bridge Converter

3. 시뮬레이션

시스템의 구성에 대한 검증을 위해 PSIM 시뮬레이션을 진행하였으며 그림 11과 그림 12에 시뮬레이션 회로도를 그림 13과 그림 14에 결과 파형을 나타 내었다.

시뮬레이션 결과 양 방향 벡 부스트 컨버터는

200V ~ 400V의 배터리 입력 전압을 540V로 승압하여 주는 것을 확인 하였으며 위상 천이 ZVS 풀 브릿지 컨버터는 540V의 입력을 14.4V의 출력으로 변환 시켜 주는 것을 확인 할 수 있었다.

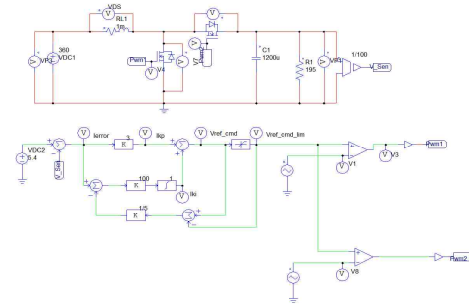


그림 11. 양방향 벡-부스트 컨버터 시뮬레이션 모델
Fig. 11. Simulation Model of Bidirectional Buck-Boost Converter

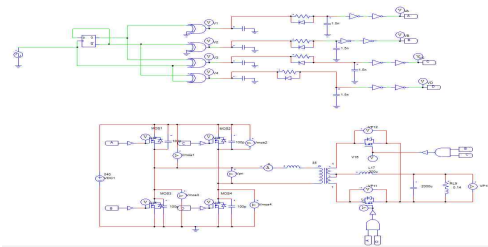


그림 12. 위상 천이 ZVS 풀 브릿지 컨버터 시뮬레이션 모델
Fig. 12. Simulation Model of Phase Shift ZVS Full Bridge Converter



그림 13. 양방향 벡-부스트 컨버터 시뮬레이션 파형(VBATT 200V, VDC 540V)
Fig. 13. Simulation Waveform of Bidirectional Buck-Boost Converter(VBATT 200V, VDC 540V)

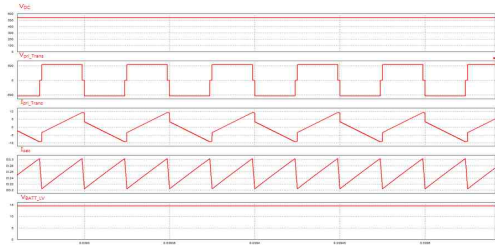


그림 14. 위상 천이 ZVS 풀 브릿지 컨버터 시뮬레이션 파형 (VDC 540V, VBATT_LV 14.4V)

Fig. 14. Simulation Waveform of Phase Shift ZVS Full Bridge Converter(VDC 540V, VBATT_LV 14.4V)

4. 실험 결과

제안된 시스템을 검증하기 위해 1.5kW급 LDC 컨버터 시작품을 제작하였으며 주요사항을 표1에 정리하였다.

표 1. 제안된 LDC 컨버터의 주요사항
Title. 1. The Main parameter of proposed LDC Converter

Parameter	Unit	Value
Rated Power	[kW]	1.5
Input Voltage	[V _{DC}]	200 ~ 400
Output Voltage	[V _{DC}]	14.4
Maximum Output Current	[A]	106
Bidirectional Buck Boost Converter Frequency	[kHz]	50
Phase Shift ZVS Converter Frequency	[kHz]	20
Transformer Turn Ratio	-	36:1

그림 15는 제작된 시작품의 사진이다. 양방향 벡-부스트 컨버터, 트랜스포머, 2차 정류기로 구성 되어있으며 가로 305mm, 세로 305mm, 높이 70mm이며 부피는 약 6.51L이다.

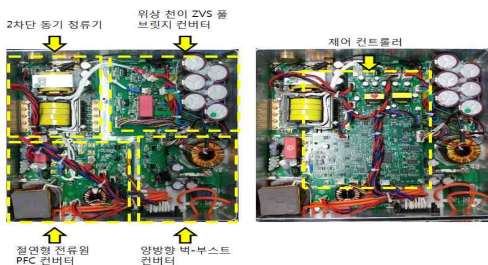


그림 15. 제안된 LDC 컨버터 시작품
Fig. 15. The proposed LDC Converter Prototype

그림 16은 배터리 단의 입력전압 200V, 정격 출력 1.5kW의 부하조건에서의 벡-부스트 컨버터 파형을 나타내었으며, 그림 17은 배터리 단 입력전압 400V, 1.5kW의 정격 부하 조건에서 벡-부스트 컨버터의 파형을 나타내었다.

제안된 양 방향 벡-부스트 컨버터를 사용하여 200V ~ 400V까지의 입력전압을 약 540V로 승압이 가능함을 확인 하였다. CH1은 배터리 단의 입력 전압, CH2는 벡-부스트컨버터의 출력전압, CH3은 스위치 S3의 게이트 전압, CH4는 인덕터에 흐르는 입력 전류를 나타내었다.

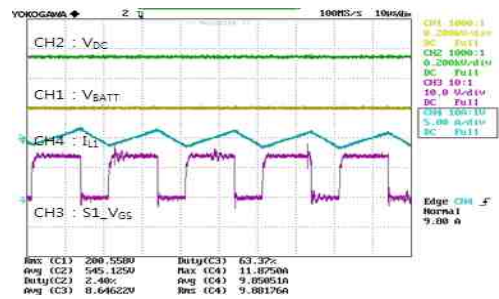


그림 16. 입력 전압 200V인가시 양방향 벡-부스트 컨버터 주요 파형(CH1 200V, CH2 545V, CH3 8.64A, CH4 9.85A)
Fig. 16. Bidirectional Buck-Boost Converter Main Waveform with Input Voltage 200V(CH1 200V, CH2 545V, CH3 8.64A, CH4 9.85A)

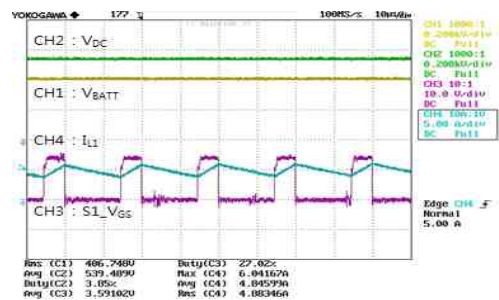


그림 17. 입력 전압 400V인가시 양방향 벡-부스트 컨버터 주요 파형(CH1 406V, CH2 539V, CH3 3.59A, CH4 4.84A)
Fig. 17. Bidirectional Buck-Boost Converter Main Waveform with Input Voltage 400V(CH1 406V, CH2 539V, CH3 3.59A, CH4 4.84A)

그림 18은 1.5kW의 정격 부하 조건에서 위상 천

이 ZVS 풀 브릿지 컨버터에 사용되는 트랜스포머 양단의 입력 전압과 입력전류, 정류된 출력 전압 과 출력 전류의 파형을 나타내었다.

위상 천이 ZVS 풀 브릿지 컨버터를 사용하여 14.4V로 변환이 가능함을 확인 하였으며 정격 출력 구간에서 ZVS가 문제없이 되는 것을 확인 하였다. CH1은 위상 천이 ZVS 풀 브릿지 컨버터 트랜스포머 양단의 전압선, CH2는 LDC의 출력 전압, CH3은 트랜스포머에 흐르는 전류, CH4는 출력 전류를 나타내었다.

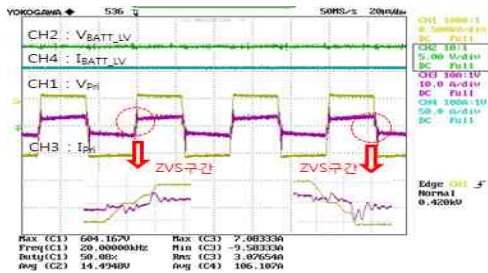


그림 18. 위상 천이 ZVS 풀 브릿지 컨버터 주요 파형(CH1 604V, CH2 14.49V, CH3 3.07A, CH4 106.1A)
 Fig 18. Phase Shift ZVS Full Bridge Converter Main Waveform(CH1 604V, CH2 14.49V, CH3 3.07A, CH4 106.1A)

그림 19는 배터리 정격 전압, 1.5kW의 정격 부하 조건에서 LDC컨버터 시작품에 대한 전력 분석기 결과를 나타내었으며 그림 20은 전압별 부하에 따른 효율 곡선 나타내었다.

정격 입력 전압 360V, 정격 출력 1.5kW에서 최대 효율 91.885%를 달성 하였으며 200V, 400V의 입력 전압, 정격 출력 1.5kW의 조건에서90%이상의 효율을 달성 하였다.

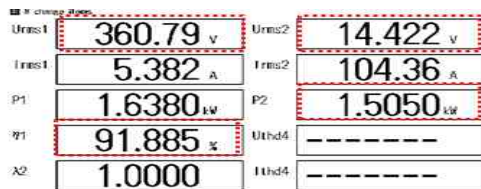


그림 19. LDC컨버터 전력 분석 결과
 Fig. 19. Analysis of LDC Converter Power Test

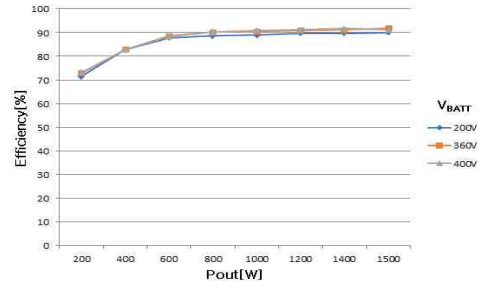


그림 20. 입력 전압별 부하에 따른 효율
 Fig. 20. Efficiency according to input voltage and load

5. 결론

본 논문에서는 절연형 전류원 PFC 컨버터를 사용한 OBC에 통합이 가능한 1.5kW급 LDC에 대해서 제안 하였다. 제안된 LDC는 양방향 벡-부스트 컨버터를 사용하여 200V ~ 400V의 배터리 전압을 고정된 임의의 출력 전압으로 변환 후 고정된 Duty Ratio를 갖는 절연형 DC/DC컨버터를 사용하여 출력 전압을 제어 할 수 있어 트랜스포머에 대한 설계를 단순화 할 수 있는 장점이 있다. 또한 통합 시스템 구축 시 약 6.51L의 부피를 가진 시스템을 만들 수 있어 기존 독립적으로 사용되고 있는 시스템과 비교하여 약 15.6%를 줄 일 수 있어 이에 따른 공간 확보에 용이함을 확인 하였다. 정격 부하 에서 최대 효율 91.885%를 달성 하였으며 향후 실제 차량 탑재 및 실 주행 테스트를 통하여 실제 적용 및 양산이 가능한지에 대해서 연구할 예정이다.

REFERENCES

[1] H. S. Kim, H. J. Kim, J. S. Ahn. "A Study on High Efficiency OBC with Wide Range Output Using Isolated Current-Fed PFC Converter", Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology pp. 99-105, 02, 2019.

[2] Y. J. Kim, J. Y. Lee. I. O. Lee, B. K. Lee, S. W. Choi, Y. G. Hong. "Study on 3-Phase Isolated PFC Converter for the

- Electric Vehicle Charger”, The Transactions of Korean Institute of Power Electronics, Vol 21, No. 5, pp. 404-413, 10, 2017.
- [3] H. J. Chae, W. Y. Kim, S. Y. Yun, H. T. Moon, Y. S. Jeong, J. Y. Lee. “PHEV Battery Charger with Power Factor Corrector”, Power electronics Annual Conference, pp. 341-342, 07, 2010.
- [4] K. W. Koo. “Study on Topologies of 6.6kW On-Board Charger for Electric Vehicles”, The Graduate School of Sungkyunkwan University, 12, 2012.
- [5] B. S. Kim. “Study of Digital Controlled DC-DC Converter for Electric Vehicle Applications”, The Graduate School of Hanyang University, 02, 2012.
- [6] H. J. Lee, D. S. Shin, H. J. Kim, K. M. Cho. “A Study on Operation Method Considered Load Characteristic of LDC Power Converter for EV”, The Korean Institute of Electrical Engineers Annual Conference, pp. 1041-1042, 07, 2016.
- [7] D. Gautam, F. Musavi, M. Edington, W. Eerle, W. Dunford, “An automotive on-board 3.3kW battery charger for PHEV application” 2011 IEEE Vehicle Power and Probulsion Conference, pp. 6-9, 09, 2011.
- [8] M. H. Kang, E. J. Jung, C. H. Kang, B. K. Lee, “Development of 3.3kW LDC for High Efficiency using SiC for EV BUS” Power Electronics Conference, pp. 223-224, 07, 2016.
- [9] H. J. Chae, W. Y. Kim, S. Y. YUN, Y. S. Jeong, J. Y. Lee, H. T. Moon. “3.3kW On-Board Charger for Electric vehicle” 8th international Conference on Power Electrics-ECCE Asia, 05, 2011.
- [10] Y. S. Kim. “Optimal Design and Control of Low Voltage DC-DC Converter Integrated On-Board Charger for Electric Vehicles” The Graduate School of Sungkyunkwan University, 12, 2013.
- [11] G. M. Kim, T. K. Kim, J. U. Yoo, C. H. Kang, K. Y. Cho, T. W. Chun. “Development of Intergrated Power Converter Device for the NEV”, Power Electronics Conference, pp. 239-240, 11, 2011.
- [12] T. H. Kim, H. S. Song, B. H. Lee, C. S. Lee, C. S. Kwon, D. Y. Jung. “Development of the Integrated Power Converter for the Environmentally Friendly Vehicle and Validation of the LDC using Battery HILS”, The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol 63, No9, pp.1212-1218, 09, 2014.
- [13] Y. S. Kim, C. Y. Oh, W. Y. Sung, B. K. Lee. “Topology and Control Scheme of OBC-LDC Integrated Power Unit for Electric Vehicles” IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, Vol32, No3, 03, 2017.
- [14] Y. S. Kim, C. Y. Oh, W. Y. Sung, B. K. Lee, “Optimal Design and Control of OBC-LDC Integrated Power Unit for Electric Vehicles”, IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 04, 2014.

저자약력

김 형 식(Hyung-sik Kim) [정회원]



- 2010년 강원대학교 전기전자공학과 졸업
- 2012년 한양대학교 대학원 전자 전기제어계측공학과 졸업(석사)
- 2016년~현재 동 대학원 전자시스템공학과 박사과정

〈관심분야〉 전력전자, 전력변환, 전동기 제어

전 준 혁(Joon-Hyeok Jeon) [정회원]



- 2014년 목포해양대학교 전자과 졸업.
- 2017년 한양대학교 대학원 전자 시스템 공학과 수료 (석·박사)
- 2017년 ~ 현재 동 대학원 박사 과정

〈관심분야〉 전력전자, 전력변환

김 희 준(Hee-jun Kim) [정회원]



- 1976년 한양대 전자 공학과 졸업.
- 1978년 동 대학원 전자 공학과 졸업(석사).
- 1986년 일본 큐슈대 전자공학과 졸업(공학박).
- 1987년 ~ 현재 한양대 전자 공학과 교수.
- 2015년 대한전기학회 회장. IEEE 수석 멤버.

〈관심분야〉 전자회로, 전력전자, 전력변환

안 준 선(Joon-seon Ahn) [정회원]



- 1993년 한양대학교 전기공학과 졸업.
- 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박).
- 2008년 ~ 현재 오산대학교 전기과 부교수

〈관심분야〉 전력전자, 전동기제어, 전력변환