

# EV/PHEV를 위한 V2G 계통연계 양방향 OBC 개발

이병권\*, 김삼균\*\*, 김석준\*\*, 김종필\*\*, 이준영\*  
 명지대학교 전기공학과\* (주)현대자동차\*\*

## Development of grid-tied 6.6kW bidirectional V2G OBC for EV/PHEV

Byung Kwon Lee\*, Sam Gyun Kim\*\*, Seok Joon Kim\*\*, Jong Pil Kim\*\*, Jun Young Lee\*  
 Department of Electrical Engineering, Myongji University\*, HYUNDAI Motors\*\*

### ABSTRACT

본 논문은 V2G를 위한 Bidirectional OBC를 제안한다. 상용화 시 적시 적용 가능한 높은 역/전송 효율의 Bidirectional OBC 전력회로를 제안하고 배터리 전력을 입력원으로 분산형 전력공급 장치에서 요구하는 품질을 만족하는 전력 생산을 위해 계통연계 회로 및 제어 기술을 제안한다. Bidirectional OBC의 PFC Type은 양방향 구현을 위해 기존 MOSFET과 Diode로 구현된 구조와 달리 모두 IGBT를 이용하여 Single Phase Inverter를 구현 하였으며, IGBT 이용 시 예측되는 Reverse Recovery Loss 개선을 위하여 Hybrid Switch 구조를 제안 하였다. Bidirectional OBC의 DC/DC Type은 전송 및 역송에 따라 Buck동작과 Boost 동작이 가능하도록 설계 하였고 Secondary LC Resonant Topology 가변구조법을 사용 하였다.

### 1. 서 론

유가 증가와 대기오염은 현대와 미래사회에 무시 할 수 없는 중요 요인이다. 이에 전 세계적으로 환경규제가 강화되고 있으며 유가 대책 마련이 시급한 상황에 있다. 위의 문제점에 대응하기 위해 자동차 산업은 내연기관에서 전기시스템으로 패러다임이 변하고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하고 에너지 사용 효율을 높이기 위하여 전기동력 시스템에 대한 관심과 요구가 높아지고 있으며 다양한 HEV/PHEV가 출시 및 개발 되고 있다. 특히 V2G(Vehicle-to-grid) 시스템을 통하여 충전되어 있는 여분의 전기를 다시 전력망을 통해 송전할 수 있는 시스템을 채택 자동차가 운행되지 않을 때 전력망을 위한 에너지 저장원으로 사용하는 방법을 사용 전력 분산의 효율 상승을 기대 할 수 있다. 위와 같은 시스템을 구현하는 것에 있어서 충전 용량과 충전 시간 단축 등이 앞으로 풀어야 할 과제로 남아 있다. 특히 EV의 효율적 측면에 있어 연구가 활발히 이루어지고 있으며 PFC의 경우 개선을 위한 논문과 프로토 타입이 많이 나와 있고 98%에 달하는 효율을 이루고 있다. 현실적인 효율개선을 위해서는 PFC 보다 DC/DC 효율에 크게 의존 할 수 밖에 없는 현실이다. 기존의 여러 V2G 시스템은 계통과 배터리 절연의 문제, 배터리 전압 선택의 자유도, 스위칭 손실, 저부하시 제어안정성, 가청소음 등의 문제점이 아직 남아 있다. 본 논문에서는 양방향 충/방전 구현을 위해 기존 FET와 Diode로 구현된 구조와 달리 Switching Device를 모두 IGBT 구성한 Single Phase Inverter로 PFC Type을 구현하였다. DC/DC의 경우 기 개발된 SRT의 장점을 유지, 역방향시에는 1차측 구조를 Voltage-double 형태로 동작시켜 이득을 2배로 형성하여 단일 전력단으로 역방향 전송이 가능하도록 하였다. 구조에 따라 PFC의 경우 Reverse Recovery Loss등이 예측되며 DC/DC의 경우 기생공진 증가 및 역방향시 정방향보다 효율이 저하될 가능성이 존재한다.

효율이 저하될 가능성이 존재한다.

### 2. Topology 제안 및 분석

PFC의 경우 단일 제어알고리즘을 사용할 수 있어야 하며 특히 양방향 인버터의 특성 상 모든 스위칭 소자가 IGBT로 구성되기 때문에 Anti-parallel 다이오드의 역회복 특성으로 인한 스위칭 손실증대와 이로 인해 고주파 동작이 어려움으로 스위치 구조 및 주파수의 최적화가 필요하다. 또 한 스위칭 주파수를 가청주파수 이상 사용하며 방향전환에 따라 안정적인 링크 전압 유지가 이루어 져야 한다. 그림 1은 단상 인버터의 회로도와 제어 블록도 이다. AC로부터 인버터가 역률을 유지하며 실시간 제어 및 단상 PLL을 통해 역률을 보상 하게 된다. 3상 인버터와 동일하게 동작 할 수 있도록 D-Q변환에서 Q성분을 가상으로 생성하여 제어 한다. 단상 PLL을 통한 위상정보로 전류 제어 및 DC전압제어를 수행 할 수 있다.

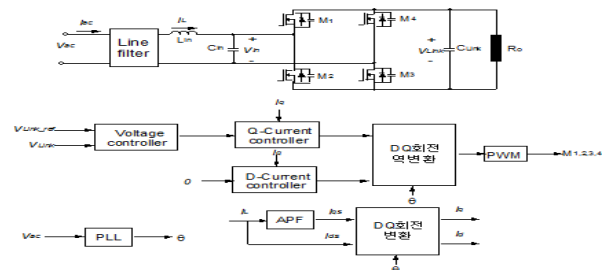
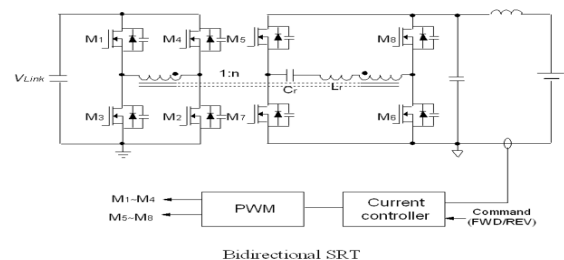


그림 1 인버터 타입 PFC  
 Fig. 1 Inverter Type PFC

그림 2는 제안된 양방향 SRT(Secondary resonant tank) 컨버터이다. 충전 동작시 단방향 SRT의 고효율 특성을 유지, 역방향시 1차측 구조를 Voltage-doubler 동작으로 이득을 증가 시켰으며 단일제어기로 제어가 용이하도록 구성 하였다. 변압기의 권선비를 배터리 최대 충전전압보다 크게 설계하여 출력 전압에 대응 하였다.



Bidirectional SRT

그림 2 SRT PWM 컨버터

Fig. 2 SRT(Secondary resonant tank) PWM Converter

### 3. 실험 및 결과 검토

표 1 실험 조건 및 설계사양

Table 1 The experimental conditions

Vin(AC)	220V	PFC fs	25 kHz
DC Link Voltage	400V	SRT fs	50 kHz
Vout	250~413V	Turn ratio	1 : 1.2
Po	6600 W	Lm	250uH

그림 2, 그림 3 은 입력전압 220AC, 출력전압 413V 기준 6.6kW 조건에서의 각각 충/방전 연동실험 파형 이다. PFC 파형의 Ch.1, 2, 3은 각각 입력전압, 입력전류, 링크전압을 나타내며 DC/DC 파형의 Ch.1, 2, 3은 각각 VMI(M1), IP, VD1(M5)을 나타낸다. SRT 방식은 고정주파수 제어를 하며 설계 point에 따라 넓은 출력전압 범위 대응이 가능하다. SRT 스위치 동작 특성은 스위치 M1, M4는 자화전류에 의한 ZVS 동작을 하며, 스위치 M2, M3는 공진전류에 의한 ZVS를 한다. 식 (1)과 같이 권선비는 배터리전압의 최대치 보다 변압기 2 차측 전압이 높도록 하였으며 공진주파수에 있어서 Vcro가 Vbatt 보다 높으면 이중 공진이 발생하므로 작게 하였다. 정류기와 하단 스위치 ZCS를 위한 공진주파수를 선택하였고 식 (2) 와 같이 이득을 구하여 최소입력전압에서 최대 전압이 나오도록 공진 캐패시터를 선택, 그 결과로 식 (3)과 같이 공진 인덕터를 계산하였다. 제어부에 있어서는 Digital 제어기로 TI28335 를 사용하였으며 정전류제어와 정전압제어 방식을 이용하였다. 그림 4 는 본 세트의 3D 설계 도면이다. SRT 1차측과 2차측 메인트랜스 공진 C의 거리를 최단으로 배치, PCB 전력패턴을 최소화 하고 CU가공물로 케이블을 대체하여 직접화 하였다. 하부에 수냉블럭을 대체하는 공랭 구조물을 설계하였다

$$V_{cro} = \frac{V_{in} \left( \frac{V_{in}}{n} - V_{batt} \right) \left( 1 - \cos \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} DT_s \right)}{2V_{batt} - \frac{V_{in}}{n} \left( 1 - \cos \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} DT_s \right)} \quad (2)$$

$$\frac{V_{batt}}{V_{in}} = G = \frac{- \left( MR_o Q - \frac{Q}{2n} \right) + \sqrt{\left( MR_o Q - \frac{Q}{2n} \right)^2 + \frac{4MR_o Q}{n}}}{2} \quad (3)$$

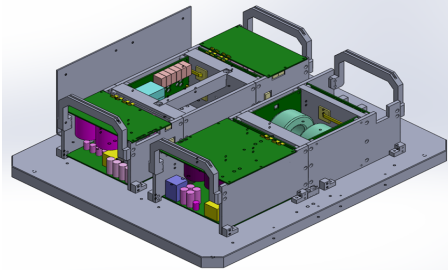


그림 4 Prototype 3D PFC - DC/DC 세트

Fig. 4 Prototype 3D PFC - DC/DC Set

### 4. 결론

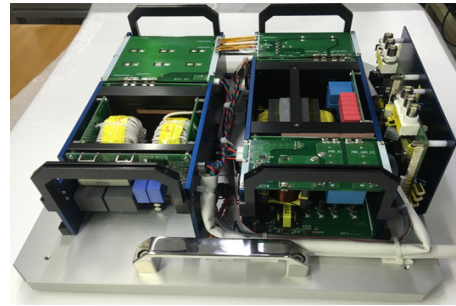


그림 5 PFC - DC/DC 세트

Fig. 5 PFC - DC/DC Set

시험 결과 출력 413V 기준 최종 연동 효율 정방향 93.8%, 역방향 92.9%, THD 수치는 정방향 5.61%, 역방향 6.10%를 나타내었다. OBC의 중요 사안인 사이즈 문제를 고려하여 최소화를 시키며 전력 패턴 및 여러 조건 등을 만족하며 열손실 및 패턴 손실 등을 최소화 시키는 구조를 구상 하였다. 변압기 구조 또한 유도가열 문제와 권선 열, 누설을 통한 EMI 문제 및 창면적 확보를 위하여 Section Type과 적층 구조를 비교 실험 하였으며 위에서 언급한 스위칭 손실 문제를 기존 Switching Device와 SIC 소자 비교 실험을 통해 손실 최소화를 위해 여러 방안을 모색하였다.

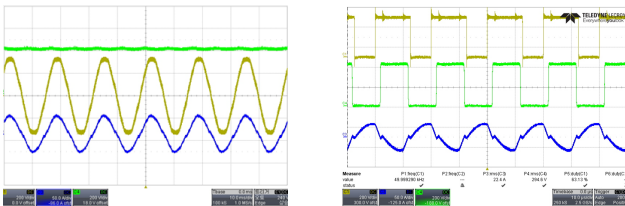


그림 2 정방향 PFC - DC/DC 파형

Fig. 2 PFC - DC/DC Forward Waveform

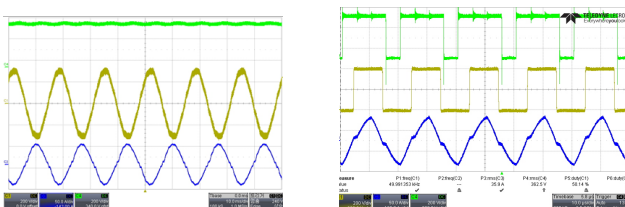


그림 3 역방향 PFC - DC/DC 파형

Fig. 3 PFC - DC/DC Reverse Waveform

$$n < \frac{V_{min}}{V_{batt,max}} \quad (1)$$

이 논문은 (주) 현대자동차의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

### 참고 문헌

- [1] Pyosoo Kim, Sewan Choi, Jeonguen Kim, "An Inductorless Asymmetrical ZVS Full Bridge Converter for Step-up Applications with Wide Input Voltage Range," ECCE2010, pp.1945-1951, 2010.
- [2] A. Y. Saber and G. K. Venayagamoorthy, "Plug-in vehicles and renewable energy sources for cost and emission reductions," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 58, no. 4, pp. 1229 - 1238, Apr. 2011.1-14, 1978.