

# 전기자동차용 6.6kW급 고효율화 OBC/LDC 통합 구조 개발

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

## High-efficient 6.6kW LDC/OBC integration structure for electric vehicles

Byung Kwon Lee\*, Tae Gyun Gwak\*, Sam Gyun Kim\*\*, Seok Joon Kim\*\*, Jong Pil Kim\*\*,  
Jun Young Lee\*

Department of Electrical Engineering, Myongji University\*, HYUNDAI NGV Co. Ltd\*\*

### ABSTRACT

이 논문은 본 논문에서는 고효율 통합컨버터(OBC/LDC) 전력회로 개발을 제안한다. 차량용 충전기의 고밀도화와 고효율화 기술을 개발함으로써 EV/PHEV용 고성능 단방향 충전기 기술의 확보를 목표로 하며 LDC와 통합을 할 수 있는 기본 구조를 제시 한다. 또한 본 논문에서는 충전기의 고효율화와 LDC와의 통합에 적합한 회로 구조를 연구하며 DC/DC 컨버터의 연구에 집중 하였다. 신규전력구조 개발을 통한 충전 효율 상승 및 LC공진을 통한 낮은 손실을 갖는 공진형 전력회로 개발을 제안하며 전력변환기의 Digital 제어회로와 Power stage 고효율화 연구를 통한 OBC/LDC 통합 구조개발을 제안한다.

### 1. 서 론

전기자동차와 하이브리드 자동차에 사용되는 전기자동차의 충전장치는 장착위치에 따라 on-board charger, off-board charger로 구분되며 전력공급 방식에 따라 유도형과 전도형으로 구분이 된다. 또한 주행거리 향상을 위하여 소형화 및 경량화를 중요시 여기며 일반 자동차의 연비와 상관있는 충전기의 효율을 높이기 위하여 고효율을 요구로 한다. 이러한 고효율 및 고 전력밀도 달성을 위하여 고주파 스위칭이 요구되며 이때 생기는 스위칭의 손실을 줄이기 위해 SRC와 같은 회로를 이용 ZVS(Zero Voltage Switching)하는 기법이 주로 사용된다. [1][2]

본 논문에서 제안한 회로에서는 Bridgeless Boost PFC 컨버터를 이용 Qrr이 낮은 다이오드를 사용하여 스위칭 손실이 작고 제어가 간단하며 Universal input 또한 가능한 컨버터를 설계 한다. 또한 인버터 타입 보다 높은 주파수를 사용하므로 인덕터 사이즈를 줄일수 있다. DC-DC단에서는 기존 F/B 나 직렬공진컨버터(SRC)와는 달리 OBC에서 넓은 부하 영역 효율 향상을 위해 1차측 스위치의 ZVS를 확보하며 2차측 정류기의 내압이 작으며 기생공진제거를 위한 스너버회로가 없어도 되며 주파수고정 및 ZVS보장, 넓은 출력전압에 대응될 수 있도록 새로운 SRT(Secondary resonant tank)PWM 컨버터를 제안 하였다. 자화인덕턴스를 이용 1차측 스위치의 ZVS가 가능하며 2차정류기의 내압이 작고 PWM방식으로 가전주파수 소음이 없다. 고정주파수 제어를 하며 설계 point에 따른 넓은 범위의 출력전압에 대응가능 하도록 설계되었다. 또한 자화인

덕턴스로 ZVS를 하므로 PSFB보다는 작으나 LLC보다는 큰값을 사용하여 LLC보다 순환전류가 작다. 본 논문에서는 충전기의 고효율화와 LDC와의 통합에 적합한 회로 구조를 연구하며 이 중에서 가장 핵심적인 DC/DC 컨버터의 연구에 집중 한다.

### 2. Topology 비교 및 선정

PFC 회로의 선정에 있어서는 그림 1과 그림 2와 같이 두가지 타입 중 그림 2의 브리지리스 타입을 선정 하였다. 인버터 방식의 pfc회로의 경우 FET Body diode의 높은 Qrr로 인해 스위칭 손실이 크며 제어기의 구조 또한 복잡하다. 인덕터 사이즈 또한 스위칭 손실로 인해 저주파를 이용하기 때문에 크다. 반면 브리지리스 타입의 PFC의 경우 Qrr이 낮은 다이오드를 사용하므로 스위칭 손실이 작으며 제어기 구조 또한 간단하다. 인덕터 사이즈 또한 인버터 방식보다는 높은 주파수를 사용하므로 인버터 방식에 비해 작다. PFC의 FET의 손실이 대부분을 차지하며 그중 Diode reverse recovery에 의한 손실이 상당히 많이 발생한다. 이에 정류다이오드를 검토하였으며, Diode 전류의  $di/dt$ 를 조절하며 인덕터 값을 조절하여 Qr을 저감 하였다. 이 외 Mosfet의 스위칭 주파수 및 종류 변경, 기타 소자 및 구동회로의 변경 및 최적화를 통해 손실을 최대한 절감 시켰다. 인버터타입의 경우 회로 구조상 FET의 Reverse recovery 손실이 크며 개선이 어렵다. 반면 브리지리스 타입의 경우 다이오드를 사용하므로 Sic 등 Reverse recovery가 없거나 작은 다이오드를 사용하여 손실개선이 유리, 스위칭 주파수의 상승이 가능하다.

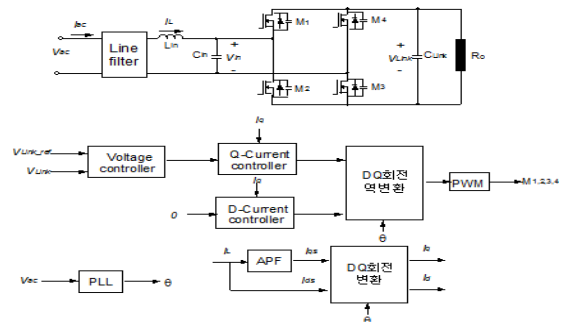


그림 1 FB 인버터 타입 PFC  
Fig. 1 FB Inverter Type PFC

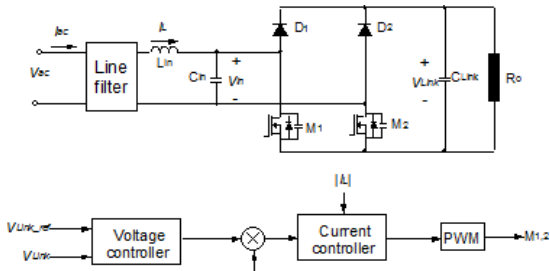


그림 2 브리지리스 Boost type PFC  
Fig. 2 Bridgeless Boost type PFC

다음 그림3과 그림4는 F/B컨버터와 제안된 SRT(Secondary resonant tank)PWM 컨버터이다. F/B컨버터의 경우 2차측 스너버 ZVS가 누설에 의존되어 이뤄지며 소프트 스위칭의 범위가 적다. 또한 저부하에서의 ZVS가 어려우며 ZCS가 불가능 하다. 제안된 SRT 방식은 고정주파수 제어를 하며, 설계 point에 따라 넓은 출력전압 범위가 대응 가능하다. SRT 스위치의 특성은 M1,M4 스위치는 자화전류에 의한 ZVS를하며, M2,M3 스위치는 공진전류에 의한 ZVS를 한다. D1~D4는 ZVZCS가가능하다. 공진탱크가 2차측에 존재하는 경우 자화전류의 경로와 공진전류의 경로가 독립적이나 1차측에 존재하는 경우 자화전류가 공진캐패시터 전압에 영향을 받는다. 또한 자화인덕턴스가 공진캐패시터 전압 형성에 영향을 주므로 입출력 이득에도 영향을 주어 설계가 복잡해 진다. 제어부에 있어서는 Digital 제어로 TI28335 DSP를 사용하였으며 정전류제어와 정전압제어 방식을 이용하였다.

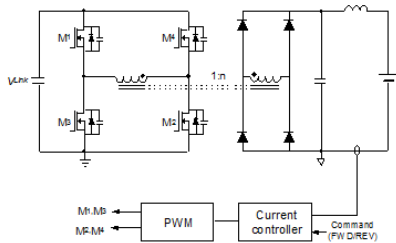


그림 3 풀 브릿지 컨버터  
Fig. 3 full bridge converter

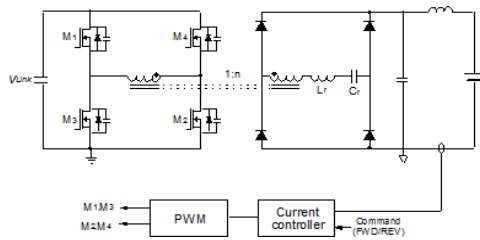


그림 4 SRT PWM 컨버터  
Fig. 4 SRT(Secondary resonant tank)PWM converter

## 2. 2 실험 및 결과 검토

표 1 SRC 실험조건 및 결과

Table 1 The experimental conditions & Result of

Vin	220V AC
DC link Voltage	400V
Vout (Vbat)	360V
switching frequency PFC / SRT	30kHz / 50kHz
Po / Efficiency	6600 W / 94.7%

그림 5 는 PFC와 SRT회로를 이용한 OBC 연동 테스트 실험 파형이다. 본 논문에서는 출력(Vbat) 측 전압 조건에서 240V~413V의 배터리 전압 조건 중 가장 상용화 되어 있는 360V 전압 조건에서 출력 6.6KW 수준의 실험 파형만을 제시 한다. 220V의 AC 전압을 받아 SRT의 입력 조건인 400V로 Link 전압을 잘 제어하고 있는 것을 알 수 있으며 입력전류와 인덕터 전류 또한 파형으로 보듯이 잘 추종 되고 있음을 볼 수 있다. SRT또한 결과파형으로 알 수 있듯이 Mode Change를 통해 charging, discharging이 이루어 지고 이때 공진전류와 자화전류를 통해 각각 ZVS를 하는 것을 알 수 있다. 이 때 역률 또한 0.996 수준이다.

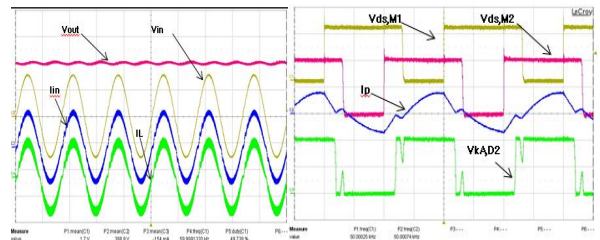


그림 5 전압조건에 따른 주요파형

Fig. 5 Waveform in accordance with the Voltage Conditions

## 3. 결론

본 논문의 회로 구조를 통하여 360V 수준에서 94.7의 효율을 증명하였다. 이 외 LDC와의 연동 테스트에서는 LDC 300W수준에서 94.4%수준의 효율을 측정 하였다. 또한 명지본 논문에 명시 되지는 않았지만 OBC 330V ~ 413V에서 최대 부하 효율 94.67 ~ 95.26%를 달성하였으며 통합구조 최대 부하에 있어서도 동일 전압 조건에서 평균 94%의 효율을 나타 내었다. 이때 정격 부하에서 역률 또한 99% 이상 달성하였다. 본 실험을 통하여 고효율화 된 Power stage를 연구 제작 하였으며 고 효율을 위한LDC 통합 구조에도 적합하다는 것을 입증 하였다.

이 논문은 (주) 현대엔지비( HYUNDAI NGV )의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

## 참 고 문 헌

- [1] 전기자동차용 역률개선 배터리충전기(전력전자학회 2010년도 전력전자 학술대회 논문집2010.7.)\_채형준\_P341~342
- [2] 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.