

# 전기자동차 온-보드 충전기를 위한 벽-타입 능동 전력 디커플링이 적용된 단상 CHFL 컨버터

김승권, 백기호, 박성민, 정교범  
홍익대학교 전자전기공학과

## Single-Phase CHFL Converter with Buck-type Active Power Decoupling for EV On-board Charger

Seung Gwon Kim, Ki Ho Baek, Sung Min Park, and Gyo Bum Chung  
Dept. of Electronic & Electrical Engineering, Hongik University

### ABSTRACT

본 논문에서는 전기자동차용 단상 온 보드 충전기를 위한 Cycloconverter type High Frequency Link 회로구조와 능동 전력 디커플링 회로를 이용한 전기자동차용 고전력밀도 양방향 온 보드 충전기를 제안한다. 제안된 시스템은 전력변환부 단계를 줄이기 위한 AC AC 변환회로와 DC 링크 커패시터를 최대한 줄이기 위해서 벽 타입 능동 전력 필터를 사용한다. 이를 통해 전력변환시스템 전체의 부피를 줄일 수 있으며, 전해 커패시터를 필름 커패시터로 대체하여 수명 문제를 해결할 수 있다. 제안된 시스템의 성능은 MATLAB/Simulink 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

### 1. 서 론

전기자동차와 플러그 인 하이브리드 전기자동차의 보급으로 온 보드 충전기(On Board Charger : OBC)에 대한 관심이 증가하고 있다. 이와 더불어 스마트 그리드를 위한 무효전력 보상과 전기자동차 배터리에 저장되어있는 유효전력을 활용할 수 있는 V2G(Vehicle to Grid) 기술에 대한 관심도 증가하고 있다. 이에 따라 양방향 전력흐름이 가능하고, 계통연계를 위해 절연이 가능하며, 에너지 절감 차원에서 보다 효율이 좋은 OBC 시스템이 요구되고 있다.

기존 AC 상용전원에 연계시키기 위한 배터리 전력저장장치(Battery Energy Storage System : BESS)를 위한 양방향 절연 컨버터로는 DAB(Dual Active Bridge) 컨버터와 DC AC 인버터를 결합한 형태가 많이 활용되고 있다. DAB 컨버터는 두 개의 풀 브리지 구조를 가진 DC DC 컨버터로 DC 링크 또한 두 부분에 존재하기 때문에 고전력밀도 컨버터로는 적합하지 않다. 본 논문에서는 Cycloconverter type High Frequency Link (CHFL) 회로구조와 능동 전력 디커플링 회로를 포함한 단상 양방향 컨버터를 제안한다. CHFL 컨버터는 고주파 변압기를 포함하여 입출력간 전기적 절연과 높은 비율의 승/강압을 지원하며, AC AC 사이클로컨버터를 사용하여 전력변환부의 단계를 줄일 수 있다. 또한 능동 전력 디커플링(Active Power Decoupling : APD) 방식을 사용하여 DC 링크 커패시터를 줄이고, 전해 커패시터를 필름 커패시터로 대체하여 부피를 줄이고 수명 문제를 해결함으로써 OBC를 고전력밀도화 할 수 있으며 신뢰성을 향상 시킬 수 있다.

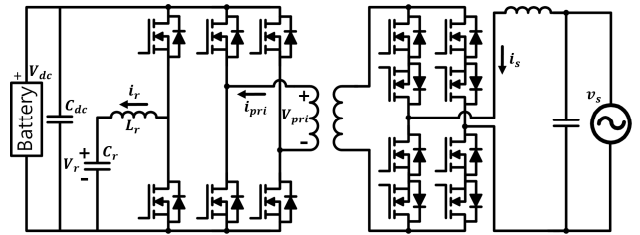


그림 1 벽-타입 능동 전력 디커플링이 적용된 단상 CHFL 컨버터

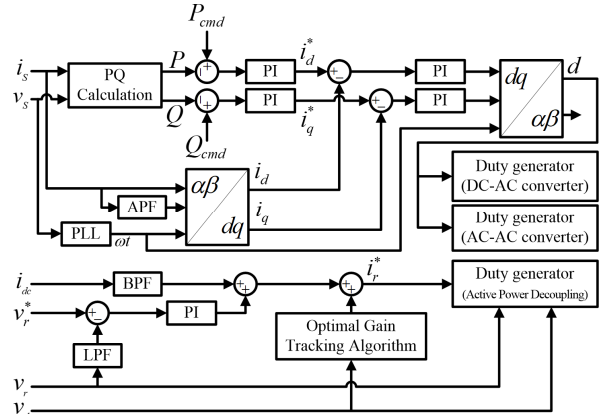


그림 2 제어 블록 다이어그램

### 2. 제안하는 고전력밀도 컨버터

제안하는 고전력밀도 컨버터는 그림 1과 같이 위상천이 풀 브리지 컨버터와 고주파 변압기, AC AC 사이클로컨버터, LC 필터의 결합으로 이루어진 CHFL 컨버터에 벽 타입 능동 전력 디커플링 회로가 추가된 구조이다. 위상천이 풀 브리지 컨버터는 전송되는 전력을 조절하기 위하여 영 전압 스위칭(ZVS) 조건 하에 양극성 고주파수 파형을 만들어낸다. AC AC 컨버터에서 양전압 사이클과 음전압 사이클로 번갈아 정류되며 PWM 변조된 고주파수 사인파형으로 출력된다. DAB 컨버터의 풀 브리지 컨버터와 DC AC 인버터가 하던 과정을 AC AC 컨버터를 사용하여 하나의 과정으로 통합함으로써 전력변환부의 단계를 줄일 수 있다.

그림 2는 단상 CHFL 컨버터의 제어 블록 다이어그램을 나타낸다. V2G 동작을 위하여 효과적인 유효전력 및 무효전력 제어가 필요하며, 이를 위해 가상 DQ변환 제어방법을 적용하였다. 유효전력 및 무효전력을 제어하기 위해서는 두 개의 직

교 성분이 필요하며 단상전원일 경우 전원 성분이 하나만 있으므로 all pass filter를 사용하여 정지좌표계 상에서 제어하려는 전류와 90도 위상차가 나는 가상의 성분을 만든다. 정지좌표계 상의 전류들은 회전하는 동기좌표계 상의 d축 전류와 q축 전류로 변환한다. 따라서 순시전력 이론에 의해 d축 전류 및 q축 전류를 제어하여 유효전력 및 무효전력을 독립적으로 제어할 수 있다. PI제어를 통하여 제어된 전류들은 다시 정지좌표계 상으로 변환된 후 CHFL 컨버터의 스위칭 소자를 컨트롤하기 위한 지령치로 사용된다. 동기좌표계 상에서의 선형적 제어는 고정좌표계 상의 제어에 비해 과도응답 특성이 향상되며 안정적인 제어시스템을 구현할 수 있다.

배터리를 충전하기 위하여 그리드에서 입력된 60Hz 주파수 AC 전력은 CHFL 컨버터를 거쳐 120Hz로 맥동하는 전력으로 DC링크에 전달된다. APD회로에 리플 에너지가 저장되도록 동작하게 함으로써 DC링크 커패시턴스를 줄일 수 있으며, 필요한 커패시터의 용량이 줄어들면 기존에 사용하던 전해 커패시터를 부피가 작고 수명이 긴 필름 커패시터로 대체할 수 있다.

### 3. 시뮬레이션 결과

단상 CHFL 컨버터의 양방향 동작과 능동 전력 디커플링 회로의 성능을 검증하기 위하여 MATLAB/Simulink 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다. 그림 3은 배터리에 저장되어있는 유효전력을 계통으로 내보내고 무효전력을 제어하는 V2G 모드를 시뮬레이션하기 위하여 CHFL 컨버터를 유효전력 3.3kW, 무효전력 1000VAR로 제한한 결과이다. 그림 3(a),(b)는 유효전력 및 무효전력 지령치를 추종하는 그림으로 전력 제어가 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 그림 3(c)는 V2G 모드에서 그리드 측 전압 및 전류 파형이며 배터리에서의 전력이 컨버터를 거쳐 AC 전류로 변환되어 그리드로 출력되는 것을 볼 수 있다. 그림 3(d)는 변압기 1차 측 전압 및 전류 파형으로 양극성 고주파수 파형이 전달되는 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 배터리 측 DC링크 커패시터만을 이용한 수동 디커플링과 APD 회로를 추가한 능동 전력 디커플링을 비교한 시뮬레이션 결과이다. 그림 4(a)와 (b)는 각각 수동 디커플링과 능동 전력 디커플링을 적용하였을 때에 배터리 측 전압을 나타내며 그림 4(c)와 (d)는 각각 수동 디커플링과 능동 전력 디커플링을 적용하였을 때에 배터리로 흘러들어가는 전류를 나타낸다. DC링크 커패시터의 크기가 같을 경우 능동 전력 디커플링이 적용 되었을 때 맥동하는 성분이 더 효과적으로 제거되어 전압과 전류가 더 안정적으로 전달되는 것을 확인할 수 있다.

표 1 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Mark	Value	Unit
AC Voltage Source(rms)	$v_s$	220	V
AC Source Frequency	$f$	60	Hz
Active Power	$P$	$\pm 3.3$	kW
Reactive Power	$Q$	1000	VAR
Battery Voltage	$V_{dc}$	400	V
DC Link Capacitor	$C_{dc}$	250	$\mu F$
APD inductor	$L_r$	50	$\mu H$
APD capacitor	$C_r$	250	$\mu F$
Switching Frequency	$f_s$	20	kHz

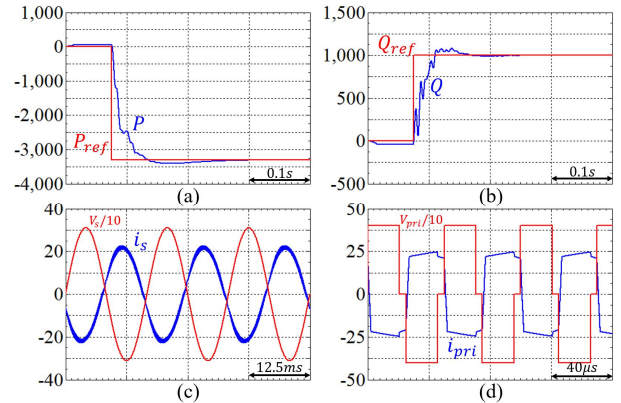


그림 3 MATLAB 시뮬레이션 결과(V2G 모드) (a)유효 전력 지령치 추종, (b)무효 전력 지령치 추종, (c)그리드 측 전압 및 전류, (d)변압기 1차 측 전압 및 전류

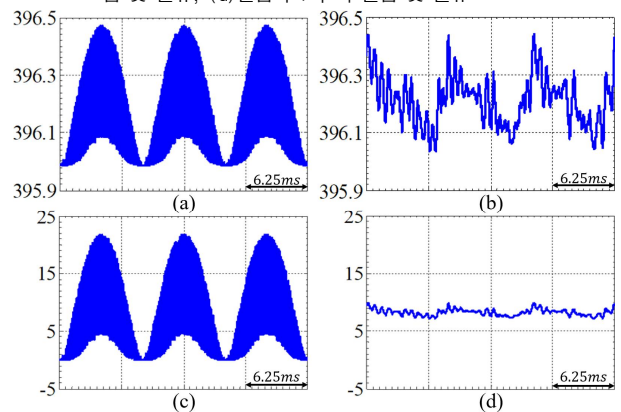


그림 4 MATLAB 시뮬레이션 결과(배터리 충전) (a)수동 디커플링 DC 측 전압, (b)능동 디커플링 DC 측 전압, (c)수동 디커플링 DC 측 전류, (d)능동 디커플링 DC 측 전류

### 4. 결론

본 논문에서는 CHFL 회로 구조를 가지는 컨버터에 벽 타입 능동 전력 디커플링 회로를 적용하여 전력 변환 시스템을 고전력밀도화하는 방법을 제안했다. AC AC 사이클로컨버터를 사용하여 DC링크를 제거하고 전력변환단계를 줄일 수 있었으며, APD 회로를 사용하여 DC링크 커패시터를 부피가 작고 수명이 긴 필름 커패시터로 대체할 수 있다. 또한 컨버터 제어에 DQ변환을 적용하여 제어 성능을 향상시킬 수 있다. 시스템의 양방향 충전 동작, V2G를 위한 유효전력 및 무효전력 제어, 배터리 충전시의 리플 전력 디커플링 동작 성능은 MATLAB/Simulink를 통하여 확인하였다.

이 논문은 2017년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2017R1C1B2008200)

### 참고 문헌

- [1] Sudip K. Mazumder, Rajni K. Burra, Rongjun Huang, Muhammad Tahir, Kaustava Acharya "A Universal Grid Connected Fuel Cell Inverter for Residential Application", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 57, No. 10, pp. 3431-3447, January 2010.
- [2] K. H. Baek, S. G. Kim, S. M. Park, "The Optimal Gain Algorithm Using Variable Step for Buck type Active Power Decoupling Circuits", The Transactions of Korean Institute of Power Electronics, Vol. 23, No. 2, pp. 121-128, April 2018.