

# 넓은 충전 전압범위를 갖는 전기자동차용 급속충전기를 위한 3레벨 DC-DC 컨버터의 하이브리드 스위칭 기법

정헌수, 박준성, 최세완  
서울과학기술대학교

## Hybrid Switching Method of Three-level DC-DC converter for EV Fast Charger with Wide Charging Voltage Range

Heon soo Jeong, Jun Sung Park, Sewan Choi  
Seoul National University of Science and Technology,

### ABSTRACT

전기자동차용 급속 충전기에서 전력변환 효율은 절연형 DC DC 컨버터에 의해 좌우된다. 이때 DC DC 컨버터의 출력 전압 범위가 넓기 때문에 기존의 3레벨 컨버터를 사용할 경우 충전전압이 낮을 때 순환전류가 커지는 문제점이 있다. 본 논문에서는 넓은 충전전압범위를 갖는 전기자동차용 급속충전기를 위한 3레벨 DC DC 컨버터의 하이브리드 스위칭 기법을 제안한다. 제안한 하이브리드 스위칭 기법은 충전전압이 낮을 때 순환전류를 줄일 수 있어 주로 낮은 배터리 전압에서 동작하는 CC충전 모드 시 도통 손실을 줄일 수 있다. 또한 커플인덕터를 사용하여 순환전류를 줄이고 Lagging Lag 스위치의 ZCS 턴오프를 성취시켜 손실을 줄일 수 있다. 기존의 스위칭 방법과 하이브리드 스위칭 기법에 따른 손실을 비교하여 제안한 스위칭 기법의 타당성을 검증하였다.

### 1. 서론

전기자동차의 보급 확대와 운용 활성화를 위해 기존 주유기에 해당하는 급속충전기의 충전 인프라 구축이 필수적이다. 그림 1과 같이 급속충전기는 인버터와 절연형 DC DC 컨버터로 구성된다. 표 1은 본 논문에서 개발하고자 하는 급속충전기의 사양을 나타낸다. 절연형 DC DC 컨버터는 다양한 배터리의 충전전압을 만족하기 위해 넓은 출력전압 범위를 갖는다. 또한, 급속충전기의 전력변환 효율은 절연형 DC DC 컨버터에 의해 좌우되므로 고효율의 달성이 필수적이다. 따라서 손실 및 EMI 발생 측면에서 유리한 공진형 DC DC 컨버터의 적용이 주로 고려되고 있다. 하지만 공진형 컨버터는 부하에 따라 전압이득 곡선이 바뀌기 때문에 급속충전기 같이 넓은 출력전압 범위에서는 스위칭 주파수 변동범위가 매우 넓어져서 손실이 커진다.

절연형 DC DC 컨버터의 입력전압은 그림 1에 나타난 3상 인버터의 출력전압(550~750V)이 된다. 만약 절연형 DC DC 컨버터에 위상천이 폴브릿지 컨버터를 사용하면 스위치의 전압 정격이 입력전압이 되어 MosFET를 사용하기 어렵고 스위칭, 도통 손실 및 가격이 상승하는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 3레벨 컨버터를 적용하면 기존의 위상천이 폴브릿지 컨버터에 비해 스위치 전압정격을 반으로 낮출 수 있다. 하지만 위상천이 제어방식은 급속충전기와 같이 컨버터의 출력전압이 넓은 응용에서는 위상차가 커질수록 순환전류가 커져 도통손실이 증가하는 문제점이 있다.

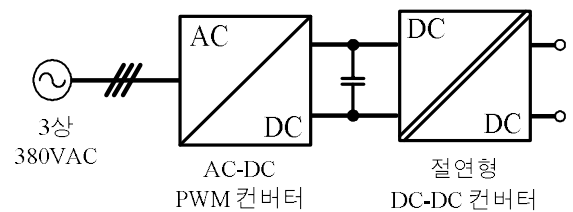


그림 1 급속충전기 시스템 구성도

표 1 급속충전기 목표 사양

구분	주요사양	비고
용량	50kW	
입력전압	3상 380V	AC
출력전압	100~500V	DC
출력전류	0~100A	DC
역률	0.95 이상	Rated Power
효율	94% 이상	Rated Power
전압리플	3% 이내	정격전압 대비
충전방식	CC CV	

본 논문에서는 넓은 충전전압범위를 갖는 전기자동차용 급속충전기를 위한 3레벨 DC DC 컨버터의 하이브리드 스위칭 기법을 제안한다. 3레벨 위상천이 폴브릿지 컨버터로써 충전전압이 낮을 때는 하프브릿지, 충전전압이 높을 때는 풀브릿지 스위칭을 해줌으로써 위상차를 줄여 순환전류를 줄일 수 있다. 또한 커플인덕터를 출력필터로 사용하여 순환전류를 줄이고 Lagging Lag 스위치의 ZCS 턴오프를 성취시켜 손실을 줄일 수 있다.

### 2. 제안하는 하이브리드 스위칭 기법

그림 2와 같이 절연형 DC DC 컨버터는 커플인덕터를 사용한 3레벨 ZVZCS 폴브릿지 컨버터이고 Leading Lag( $S_1, S_4, S_5, S_6$ )와 Lagging Lag( $S_2, S_3, S_6, S_7$ )의 위상차( $\phi$ )로 제어된다. 기존의 위상천이 제어방식은 출력전압이 작아질수록 위상차( $\phi$ )가 커져 전압전달을 하지 않는 구간이 늘어나고 순환전류가 커져 도통손실이 늘어나는 단점이 있다. 제안하는 하이브리드 스위칭 기법은 출력전압이 작아져도 위상차( $\phi$ )를 줄일 수 있다. 하이브리드 스위칭 기법은 그림 3과 같이 2가지 방법으로 나타낼 수 있다. DC DC 컨버터의 출력전압인 배터리의 충전전압을 확인하여 100~250V의 낮은 전압을 충전 시에는 그림 3(a)와

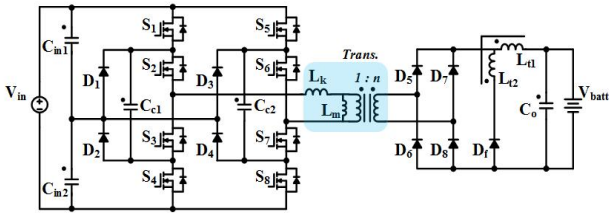
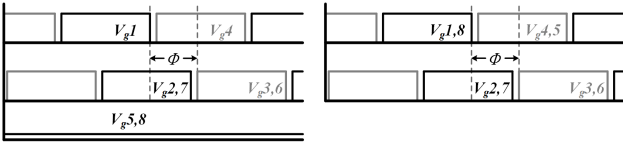
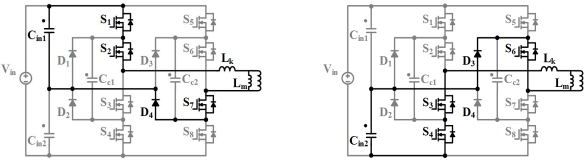


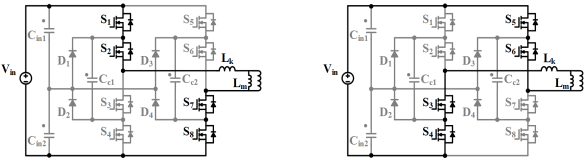
그림 2 커플인덕터를 사용한 3레벨 ZVZCS 풀브릿지 컨버터



(a) 하프브릿지 게이트 신호 (b) 풀브릿지 게이트 신호  
그림 3 제안하는 하이브리드 스위칭 기법



(a) 하프브릿지 스위칭 방식 전압전달 경로



(b) 풀브릿지 스위칭 방식 전압전달 경로  
그림 4 스위칭 방식에 따른 전압전달 경로

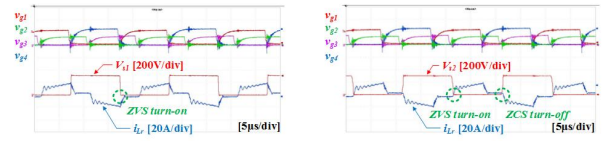
같이 하프브릿지 게이트 신호를 준다. 이 때 전압전달 경로는 그림 4(a)와 같이 되고 변압기에 입력전압의 절반인  $V_{Cin1}$  또는  $V_{Cin2}$ 의 전압이 걸린다. 배터리의 충전전압을 250~500V 충전 시에는 그림 3(b)와 같이 풀브릿지 게이트 신호를 준다. 이 때 전압전달 경로는 그림 4(b)와 같이 되고 변압기에 입력전압  $V_{in}$  또는  $V_{in}$ 의 전압이 걸린다. 하이브리드 스위칭 기법으로 배터리 전압에 따라 하프 또는 풀브릿지 게이트 신호를 주어 넓은 충전전압 범위에도 불구하고 위상차( $\phi$ )를 줄여 기존의 3레벨 하프 또는 풀브릿지 단독 스위칭 방식에 비해 순환전류를 줄일 수 있다.

### 3. 실험 결과

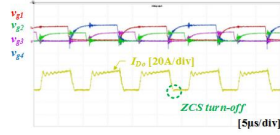
제안하는 급속충전기는 다음의 모듈 7개로 구성예정이며 한 개 모듈의 실험사양이 아래와 같다.

- $P_{out} = 7.2kW$       •  $V_{in} = 600V$       •  $V_{bat} = 100 \sim 500V$
- $f_{sw} = 50kHz$       •  $L_r = 25\mu H$       •  $L_m = 1mH$

그림 5(a)~(c)는 스위치 S1, S2 전압, 전류 파형과 다이오드 전류 파형이다. Leading Lag 스위치(S1)는 ZVS 턴온을 하고 Lagging Lag 스위치(S2)는 ZVS 턴온 및 ZCS 턴오프를 성취한다. 2차측 다이오드는 ZCS 턴오프를 성취한다.



(a) 스위치 S1 전압, 전류 파형 (b) 스위치 S2 전압, 전류 파형



(c) 2차측 다이오드 전류 파형  
그림 5 실험파형

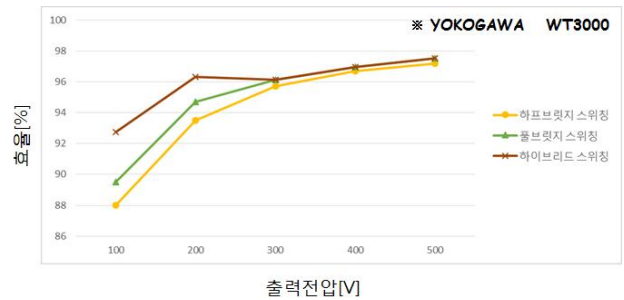


그림 6 스위칭 방식에 따른 측정효율비교

그림 6은 스위칭 방식에 따른 효율 측정을 한 것이다. 제안한 하이브리드 스위칭 방식이 하프 또는 풀브릿지 단독 스위칭 방식에 비해 출력전압이 낮을 때 순환전류를 줄여 효율이 크게 상승하는 것을 확인할 수 있다. 제안한 하이브리드 스위칭 방식의 정격 효율은 97.5%가 측정되었다.

### 4. 결론

본 논문에서는 넓은 충전전압 범위를 갖는 전기자동차용 급속충전기를 위한 3레벨 DC DC 컨버터의 하이브리드 스위칭 기법을 제안한다. 하이브리드 스위칭 기법은 넓은 충전전압 범위에도 순환전류를 줄여 주로 낮은 배터리 전압에서 동작하는 CC모드 충전 시 도통 손실을 줄일 수 있다. 7.2kW급 모듈을 통하여 제안한 하이브리드 스위칭 기법의 타당성을 검증하였다.

### 참고 문헌

- [1] E. Chu, X. Hou, H. Zhang, M. Wu, X. Liu, "Novel Zero voltage and Zero current Switching (ZVZCS) PWM Three level DC DC Converter Using Output Coupled Inductor," IEEE Trans. Power Electron., vol. 29, no. 3, pp. 1082-1093, 2014.
- [2] X. Ruan, Z. Chen, and W. Chen, "Zero voltage switching PWM hybrid full bridge three level converter," IEEE Trans. Power Electron., vol. 20, no. 2, pp. 395-404, Mar. 2005.
- [3] J. R. Pinheiro and I. Barbi, "The three level ZVS PWM converter A new concept in high voltage DC to DC conversion," Proc. IEEE IECON'92, pp. 173-178, 1992.