

단상 CHFL 컨버터의 고전압 스파이크 저감을 위한 스위칭 방법

김정태, 박성민

홍익대학교 전자전기융합공학과

Modified Switching Scheme to Reduce High Voltage Spikes in the Single-Phase CHFL Converter

Jeong-Tae Kim, Sung-Min Park

Dept. of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University

ABSTRACT

본 논문에서는 전기자동차용 양방향 배터리 충전장치에 사용되는 CHFL(Cycloconverter-type High Frequency Link) 컨버터에서 발생하는 고전압 스파이크 저감을 위한 스위칭 방법을 제안한다. CHFL 컨버터는 양극성 고주파 파형 정류시 LC 필터의 인덕터와 변압기의 누설 인덕터에 저장된 에너지로 인해 고전압 스파이크가 발생하게 된다. 제안된 스위칭 방법은 환류 구간을 통해 저장된 에너지를 회생시킴으로서 고전압 스파이크 문제를 해결할 수 있다. 제안된 스위칭 방법의 성능은 MATLAB/ Simulink 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

1. 서론

전기자동차의 배터리를 충전하기 위해서 일반적으로 차량 내부에 온-보드 충전기(On-Board Charger : OBC)가 탑재된다. 차량 내부 공간은 한정되어 있기 때문에 CHFL 컨버터와 같이 구조가 간단하고 부품수가 적은 싱글-스테이지(Single-Stage) 토폴로지 온-보드 충전기에 대한 연구 개발이 활발히 이루어지고 있다.

CHFL 컨버터는 그림 1과 같이 위상천이 폴-브릿지 컨버터와 고주파 변압기, 사이클로 컨버터가 결합된 형태이다. 위상천이 폴-브릿지 컨버터는 전송되는 전력을 조절하며 양극성 고주파 파형을 만들어 낸다. 사이클로 컨버터는 변압기를 통해 전달된 파형을 정류한다^[1]. CHFL 컨버터의 양극성 고주파 파형 정류시 LC 필터의 인덕터와 변압기의 누설 인덕터가 전류 원인으로 동작해 고전압 스파이크를 발생시킨다. 본 논문에서는 CHFL 컨버터의 고전압 스파이크 문제 해결을 위한 스위칭 방법을 제안한다. 제안된 스위칭 방법은 전류의 환류 구간을 만들어 저장된 에너지 회생을 통해 고전압 스파이크를 줄일 수 있다.

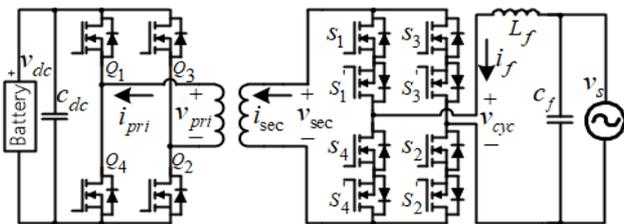


그림 1 단상 CHFL 컨버터

2. 제안하는 스위칭 방법

그림 2는 단상 CHFL 컨버터의 일반적인 스위칭 방법을 나타낸다. IGBT 사용시에 바디 다이오드의 역 회복을 방지하기 위해 쇼트키 다이오드가 필요하지만 MOSFET 사용시에는 스위치 도통으로 바디 다이오드의 역 회복을 방지할 수 있다^[2]. 기존 스위칭 방법은 배터리에서 계통으로 전력을 공급할 시에 위상천이 폴-브릿지 컨버터의 전류가 환류하여 고전압 스파이크를 저감시킬 수 있다. 그러나 배터리 충전 및 무효전력 제어 시에는 LC 필터의 인덕터에 저장된 에너지로 인해 고전압 스파이크가 발생하게 된다.

그림 3은 제안하는 스위칭 방법이다. 배터리 충전 및 무효전력제어에서 고전압 스파이크를 저감하기 위해 기존 스위칭 방법에서 사이클로 컨버터 스위칭을 위상천이 폴-브릿지 컨버터와 같은 위상으로 위상천이 시킨다. 제안된 방법은 MOSFET 사용시에 바디 다이오드 역 회복 방지 상태에서 영 전압 스위칭(ZVS) 조건을 형성시킨다. 환류 구간에서 위상천이 폴-브릿지 컨버터는 변압기의 누설 인덕터에 저장된 에너지를 회생시키고 사이클로 컨버터는 LC 필터의 인덕터에 저장된 에너지를 회생시켜 고전압 스파이크를 줄일 수 있다. 배터리 충전 및 무효전력 제어에서 변압기 전류 i_{sec} 는 환류 구간동안 0[A]로 줄어든 후에 역 방향으로 다시 증가하게 된다. 상승 및 하강 엣지에서 변압기 전압을 나타내는 식 (1)에 따라 동일한 시간동안 Δi_{sec} 의 크기가 줄어들어 변압기의 누설 인덕터로 인해 발생하는 고전압 스파이크를 저감시킬 수 있다.

$$v_{sec} \approx L_{leak} \frac{\Delta i_{sec}}{\Delta t} \tag{1}$$

그림 4와 5는 제안된 스위칭 방법을 적용한 단상 CHFL 컨버터의 전력변환 과정이다. 그림 4(a)와 5(a)는 기존 방법으로 동작하며 사이클로 컨버터는 위상천이 폴-브릿지 컨버터에서 전달된 양극성 파형을 정류한다. 그림 4(b)와 5(b)는 제안된 방법으로 동작하며 위상천이 폴-브릿지 컨버터에서 변압기를 통해 전류가 환류되는 동안 사이클로 컨버터는 LC필터의 인덕터를 통해 전류가 환류된다. 위상천이 폴-브릿지 컨버터의 전류의 환류와 사이클로 컨버터 스위칭으로 변압기에 흐르는 전류는 0[A]가 되지만 계통전류의 환류로 LC필터의 인덕터에 흐르는 전류 i_f 는 기존 방법과 동일하게 CCM으로 동작한다.

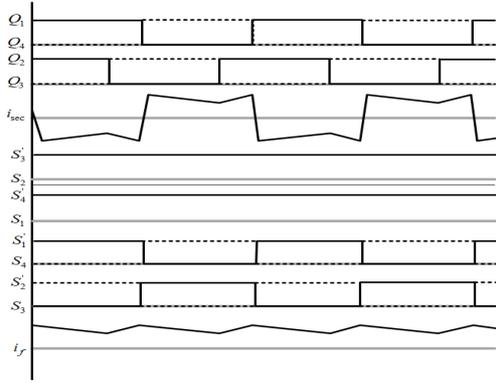


그림 2 기존 CHFL 컨버터 동작원리

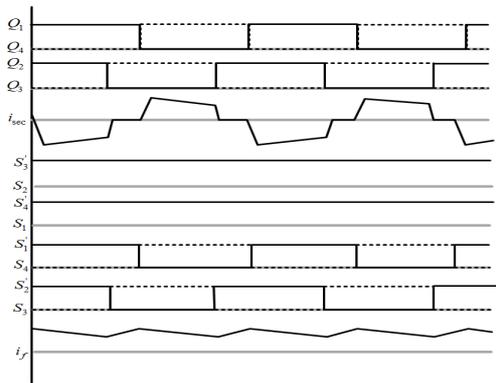


그림 3 제안하는 CHFL 컨버터 동작원리

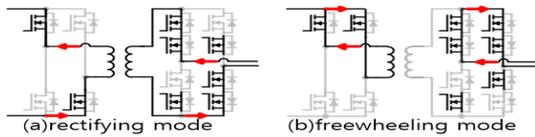


그림 4 제안하는 CHFL 컨버터 전력변환과정 ($i_f > 0$)

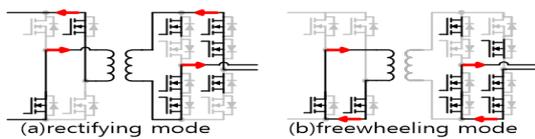


그림 5 제안하는 CHFL 컨버터 전력변환과정 ($i_f < 0$)

3. 시뮬레이션 결과

제안된 방법의 성능을 검증하기 위하여 MATLAB/Simulink 시뮬레이션을 수행하였다. 사용된 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다. 그림 6은 기존 스위칭 방법과 제안된 스위칭 방법을 비교한 시뮬레이션 결과이다. 그림 6(a)와 6(b)는 3kW, 그림 6(c)와 6(d)는 -3kW, 그림 6(e)와 6(f)는 1000VAR 전력제어에서 각각 기존 스위칭 방법과 제안된 스위칭 방법을 적용하였을 때 사이클로 컨버터 측 폴 전압이다. 배터리에서 계통으로 전력을 공급할 경우 기존 방법과 제안된 방법의 결과가 동일한 것을 확인할 수 있으며, 배터리 충전 및 무효전력을 제어할 경우 기존 방법보다 제안된 방법이 고전압 스파이크를 50% 저감시키는 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	± 3.3	kW
Reactive Power	Q	1000	VAR
Battery Voltage	V_{dc}	400	V
Switching Frequency	f_s	20	kHz

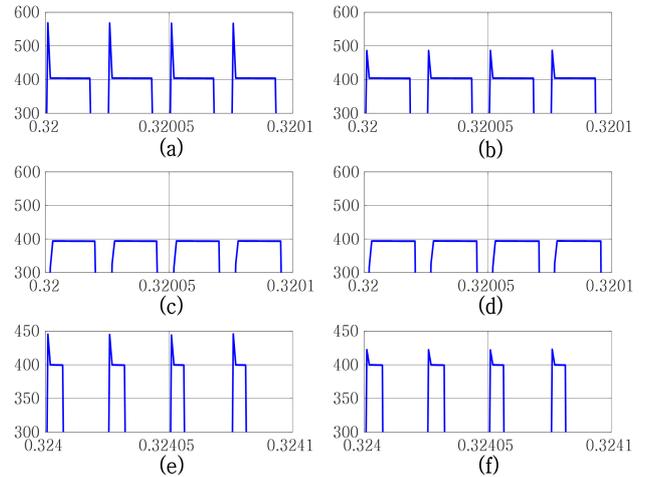


그림 6 MATLAB 시뮬레이션결과(사이클로 컨버터 측 변압기 전압)
 (a)3kW 기존 스위칭 방법, (b)3kW 제안된 스위칭 방법,
 (c)-3kW 기존 스위칭 방법, (d)-3kW 제안된 스위칭 방법,
 (e)1000VAR스위칭 방법, (f)1000VAR 안된 스위칭 방법

4. 결론

본 논문에서는 CHFL 컨버터의 고전압 스파이크를 개선하기 위해 위상천이 방식을 적용시킨 스위칭 방법을 제안했다. 사이클로 컨버터의 양극성 고주파 정류 동작에서 바디 다이오드 역회복을 방지할 수 있었으며, 환류 구간을 만들어 LC 필터의 인덕터와 변압기의 누설 인덕터의 에너지를 회생시켜 고전압 스파이크를 줄일 수 있었다. 제안된 스위칭 방법의 동작 성능은 MATLAB/Simulink를 통하여 확인하였다.

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

참고 문헌

- [1] S. Kim, K. Baek and S. Park, "Improved Power Control Strategy of Single-Phase CHFL Converter for V2G Applications," 2018 21st International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), pp.2614-2618, 2018. doi: 10.23919/ICEMS.2018.8549110.
- [2] Sudip K. Mazumder, Rajni K. Burra, Rongjun Huang, Muhammad Tahir, Kaustuva 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.