

3 레벨 부스트 PFC 컨버터의 공통모드 EMI 노이즈 저감을 위한 고밀도 필터 설계

이성은, 조영훈

건국대학교 전력전자연구실

Design of High Density Filter for Common Mode EMI Noise Reduction in 3 Level Boost PFC Converters

Seong-Eun Lee, Young-hoon Cho

Power Electronic Lab, Konkuk Univ

ABSTRACT

최근 전기자동차의 보급 확대와 더불어 주행거리 향상을 위해 800V 이상의 고전압 배터리 충전을 위한 PFC 연구가 진행되고 있다. 3 레벨 부스트 PFC(Power Factor Correction) 컨버터가 적절한 대안으로 제시되고 있으나 공통모드 EMI(Electro Magnetic Interference) 발생으로 시스템 안정성 하락 등의 문제점이 있다. 본 논문에서는 3 레벨 부스트 PFC 컨버터의 공통모드 EMI 누설 전류 저감을 위해 고밀도 필터를 설계하고 이를 시뮬레이션을 통해 검증한다.

1. 서론

전기자동차 산업의 급속한 성장과 함께 차량의 주행거리를 늘리기 위한 고전압 배터리 시스템의 개발이 증가하고 있다. 이러한 배경에서 800V 이상의 고전압 배터리를 효율적으로 충전할 수 있는 전력 변환 시스템에 대한 요구가 높아지고 있다. 그 중 3 레벨 부스트 PFC(Power Factor Correction) 컨버터는 고전압 응용분야에서 효율적인 해결책으로 각광 받고 있으나, 이러한 시스템에서는 불가피하게 전자기 간섭(Electro Magnetic Interference, EMI)이 발생하며, 특히 공통모드(Common Mode, CM) 노이즈는 그라운드를 통해 전원 공급 라인에 전류가 유입되어 발생하는 노이즈로 시스템의 안정성과 성능에 영향을 미친다.

공통모드 EMI는 전자기적 호환성(Electro Magnetic Compatibility, EMC) 문제를 야기하며, 전기적 장비의 정확성 및 신뢰성 저하의 원인이 되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 공통모드 누설 전류를 효율적으로 저감할 수 있는 고밀도 필터의 설계는 필수적이다. 본 논문에서는 3 레벨 부스트 PFC 컨버터에 최적화된 고밀도 필터를 설계하고 그 효과를 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 설계된 필터는 공통모드 EMI를 저감함으로써 전체 시스템의 안정성과 EMC 성능을 개선하는데 중점을 두었다. 이러한 연구는 더 높은 전압의 배터리 시스템을 효율적으로 활용하려는 최근 추세와 맞물려 전기자동차의 더 나은 성능과 확장된 주행 거리를 가능하게 할 것이다.

2. 단상 3 레벨 부스트 PFC 컨버터 모델링

2.1 단상 3레벨 부스트 PFC 컨버터 회로구조

본 논문에서 제안하는 단상 3 레벨 부스트 PFC 컨버터의

회로구조는 그림 1과 같다. 그림 1의 회로는 NPC(Neutral Point Clamped) 타입의 단방향 PFC 컨버터이다. 기존의 3 레벨 PFC 인버터의 최상단과 최하단 스위치를 다이오드로 대체한 회로구조이다.

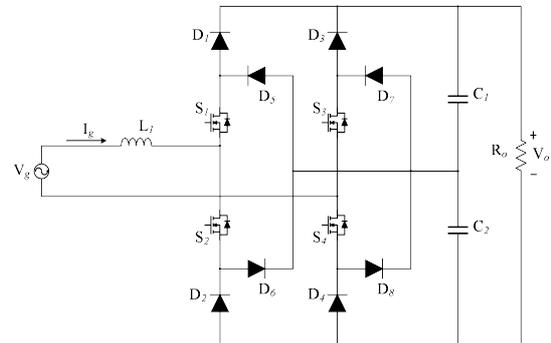


그림 1 3 레벨 부스트 PFC 컨버터 회로구조
Fig. 1 3-level boost PFC converter topology

PFC 컨버터에 교류전압이 인가될 때, 스위치 S_1, S_2, S_3, S_4 의 On, Off 여부에 따라 전류 도통 경로가 달라진다. 입력전압의 크기가 양인 경우 S_2 와 S_3 이 On되어 S_2 와 중성단 다이오드 D_5, D_6 을 통해 직류링크 상단 C_1 의 전압을 승압한다. 그리고 D_4 와 중성단 다이오드를 지나 On되어 있는 S_3 를 지나고 인덕터를 충전시킨다. 스위치가 Off 되면 인덕터의 충전된 에너지가 다이오드를 통해 직류링크 커패시터를 충전시켜 준다. 앞선 동작이 반복되며 직류링크 상단 C_1, C_2 의 전압이 제어된다. 입력전압의 크기가 음인 경우 S_1 과 S_4 이 On되어 직류링크 커패시터를 충전시켜 준다.

2.2 EMI 노이즈 저감 필터

그림 2의 회로는 EMI 필터 저감을 위하여 제안한 필터 설계구조이다. 커패시터 C_{cm1} 과 C_{cm2} 사이 고주파 노이즈를 차단하기 위한 공통모드 초크와 Y 커패시터 C_{Y1}, C_{Y2} 을 연결하며, 인덕터 L_{cm1} 을 하단에 연결한 구조로 구성하였다. 공통모드 EMI 노이즈는 접지를 통해 보통 전원 입력 및 출력 케이블에서 발생하기에 공통모드 경로의 노이즈를 측정하고 필터링하기 위해서 그림 1의 3 레벨 부스트 PFC 컨버터 전원단에 필터를 위치시킨다. 이 입력 필터를 통과한 주 입력 전원은 사용하고 자 하는 전압 및 전류로 변환되어 출력된다.

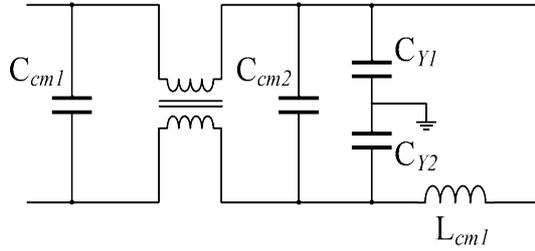


그림 2 EMI 공통모드 필터 회로
Fig. 2 EMI Common Mode filter topology

3. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 단상 3 레벨 PFC 컨버터의 특성을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 진행한다. 시뮬레이션에 사용된 소프트웨어는 Powersim 社의 PSIM을 사용하였다.

그림 3은 3 레벨 부스트 PFC 컨버터 시뮬레이션 모델을 보여주며 입력 전원 고조파 노이즈를 구현하고자 933Vrms 60Hz 입력 전원에 220Vrms 120Hz의 전원을 직렬 연결하였다. 입력 단 전류를 측정하고 FFT 분석을 통해 필터 부착 전과 후 고조파 성분을 비교하였다.

표 1 시뮬레이션 파라미터 값
Table 1 SYSTEM PARAMETERS FOR PFC CONVERTER

L_m	1	mH	$C_{Y1,2}$	1000	pF
L_1	500	uH	v_g	933	V_{rms}
C_{cm1}	0.33	uF	V_{dc}	1647	V
C_{cm2}	0.1	uF	f_s	20	kHz

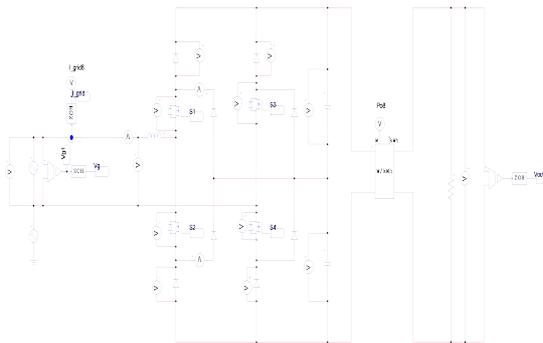


그림 3 3레벨 부스트 PFC 컨버터 시뮬레이션
Fig 3 3-level boost PFC converter simulation

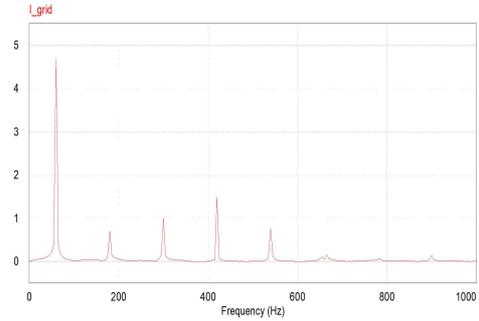


그림 4 3 레벨 부스트 PFC 컨버터 입력 전류 (FFT)
Fig. 4 Input current of 3-level boost PFC converter (FFT)

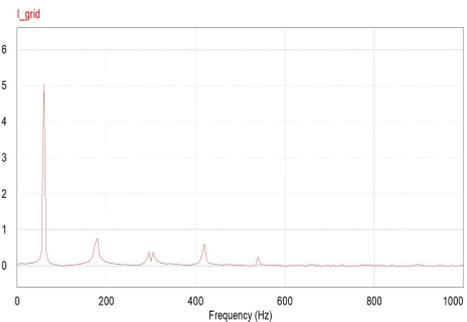


그림 5 필터 추가된 3 레벨 부스트 PFC 컨버터 입력 전류 (FFT)
Fig. 5 Input current of 3-level boost PFC converter with filter (FFT)

4. 결론

본 논문에서는 고효율 및 고밀도 전력 전달을 위해 3 레벨 부스트 PFC 컨버터 공통모드 EMI 필터를 제안하였다. 제안한 회로는 부스트 PFC 컨버터 입력단 EMI 필터를 통해 입력 전류의 고조파 노이즈를 저감시킴으로써 공통모드 노이즈를 저감하였으며, 제안한 회로의 타당성을 시뮬레이션을 통해 그 효과를 확인하였다.

이 논문은 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

참고 문헌

[1] R. Yamada, Y. Nemoto, S. Fujita and Q. Wang, "A battery charger with 3-phase 3-level T-type PFC," 2015 IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC), Osaka, Japan, 2015

[2] S. Jiang, Y. Liu, J. Peng and H. Jiang, "Magnetic Integration of EMI filter for Grid-Connected Voltage-Source Inverters," 2019 10th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE 2019 - ECCE Asia), Busan, Korea (South), 2019