

계통 연계형 단상 멀티레벨 컨버터의 고조파 전류 저감을 위한 필터에 관한 연구

한상협*, 김흥근*, 차헌녕*, 전태원**, 노의철***
 경북대학교* 울산대학교** 부경대학교***

A basic study on the filter to reduce harmornic current of grid connected single phase multi-level converter

Sang Hyup Han*, Heung Geun Kim*, Honnyong Cha*, Tae Won Chun**, Eui Cheol Nho***
 Kyungpook National Univ.*, Ulsan Univ.** , Pukyong National Univ.***

ABSTRACT

계통 연계형 인버터에서는 고조파 전류를 저감하기 위하여 필터가 필요하다. 이러한 고조파 저감을 위하여 LCL 필터나 LCL 필터의 커패시터 단에 직렬로 L을 추가한 직렬 공진을 이용한 LLCL 필터가 있다. 이러한 필터들은 특정 주파수 대역의 고조파를 효과적으로 제거할 수 있으며 기존의 L 필터보다 용량이 줄어든다. 본 논문에서는 단상 멀티 레벨 컨버터의 PWM 주파수 성분의 고조파 저감 효과를 갖는 L, LLCL 필터를 설계하고 비교한다.

1. 서론

최근 신재생 에너지에 의한 분산 전원의 발전과 보급에 따라, 계통 연계형 컨버터는 계통과 분산 전원을 연결하는 중요한 매개체다. 이러한 계통 연계형 컨버터는 주로 2레벨 컨버터지만, 전력용 반도체의 가격 하락으로 인하여 멀티 레벨 컨버터의 사용이 많아지고 있다. 고레벨로 갈수록 더 높은 전력 변환 효율을 나타내고, 더 작은 필터를 사용할 수 있어 시스템의 부피와 무게를 줄일 수 있기 때문이다.

계통 연계를 할 때는 한전에서 요구하는 고조파의 관한 사항을 준수하여야 한다. 이러한 멀티레벨 컨버터 역시 기존의 인버터보다는 고조파가 저감되지만 필터를 적용하여 요구되는 기준사항을 만족시켜야 한다. 필터의 종류는 기존의 L 필터와 함께 LCL, LLCL 필터가 있다.

따라서 본 논문에서는 단상 멀티레벨 컨버터의 PWM 주파수 성분의 고조파 저감효과를 갖는 L, LLCL 필터를 설계하고 비교한다.

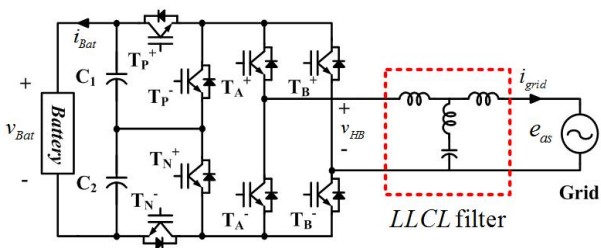


그림 1 LLCL 필터가 적용된 멀티레벨 컨버터

2. 멀티레벨 컨버터의 동작 원리

2.1 멀티레벨 컨버터의 동작 원리

그림 1은 LLCL 필터를 적용한 멀티레벨 컨버터의 토폴로지를 나타낸다. T_{p+} , T_{p-} , T_{n+} , T_{n-} 스위치는 전압 레벨을 결정하며 H bridge 단의 스위치는 교류 전압을 결정한다. 따라서 각 단의 스위치 스위칭 주파수가 다르므로 선택적으로 소자를 선정할 수 있다. 이 토폴로지의 경우 5 레벨의 출력 전압을 가지며, 기존의 멀티레벨 컨버터와 비교하여 레벨이 커질수록 스위치 소자의 수가 줄어든다는 장점이 있다.

그림 2는 멀티레벨 컨버터의 동작원리를 나타낸 것이다. 계통 쪽으로 전류가 나가는 방전 모드에서의 동작 순서이다. 직류링크단의 커패시터가 교번하여 충전되며 NPC 컨버터와 비교하여 별도의 추가 회로 없이 커패시터 밸런스가 이루어진다. 방전모드 뿐만 아니라 직류링크단으로 전력이 넘어오는 충전모드 역시 매끄럽게 동작하며 역률 제어가 가능하다.

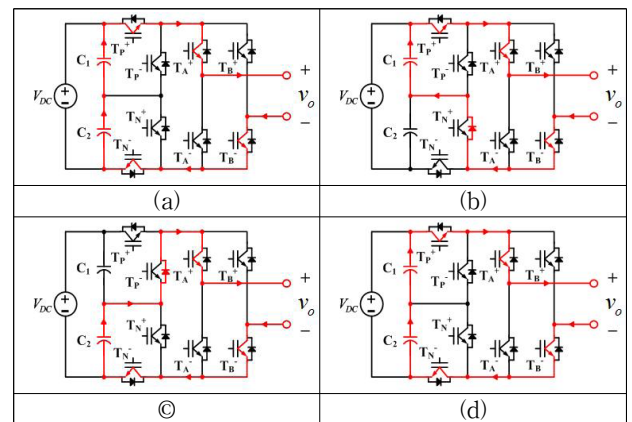


그림 2 멀티레벨 컨버터의 동작 원리

2.2 멀티레벨 컨버터의 필터

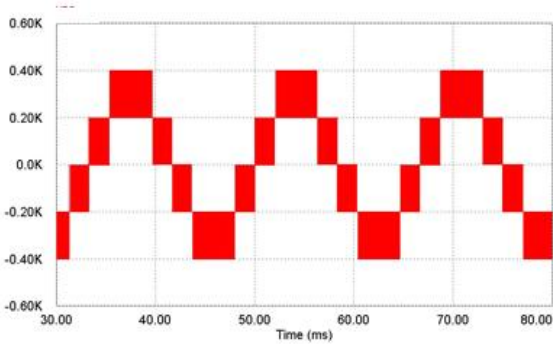


그림 3 멀티레벨 컨버터의 출력전압

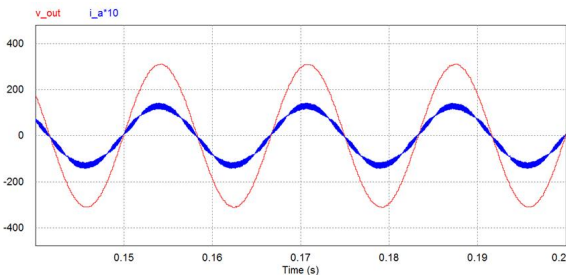


그림 4 L필터를 적용한 멀티레벨 컨버터의 출력 전류와 계통 전압

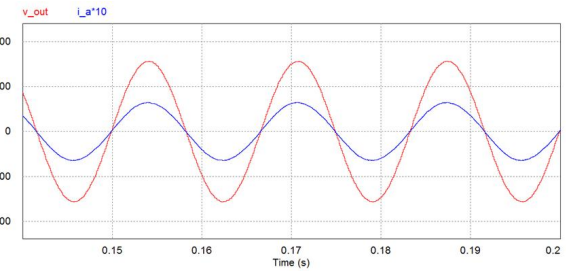


그림 5 LLCL필터를 적용한 멀티레벨 컨버터의 출력 전류와 계통 전압

그림 3은 멀티레벨 컨버터의 출력 전압을 나타낸다. 400V의 5레벨 전압이 출력된다. 그림 4는 L 필터를 적용된 멀티레벨 컨버터의 출력 전류를 나타낸 것이다. 1 mH의 필터를 적용하였으며 출력 전류의 THD가 4.64 %이다. 그림 5는 LLCL 필터를 적용한 출력전류를 나타냈다. L1은 1 mH L2는 0.2 mH로 설계하였다. 이러한 필터가 적용된 출력 전류의 THD는 1.46 %로 기존의 L필터와 비교하여 3%가량의 큰 THD 저감 효과가 있다.

LLCL 필터는 branch 회로에 커패시터를 추가한 직렬 공진회로를 이용하여 특정 스위치 주파수 영역대에서 생기는 고조파를 감쇄한다. 먼저 멀티레벨 인버터의 전류 리플을 선정하여 인덕터 용량과 커패시터 용량을 계산하였다. 인덕터 용량은 베셀함수의 적분을 이용하여 선정하였으며, Quality factor와 파라미터 드리프트를 고려하였다.

그림 6은 L필터를 적용한 멀티레벨 컨버터의 출력 전류 FFT를 나타낸 것이다. 20 kHz에서 고조파가 형성되어 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 7은 LLCL 필터를 적용하였을 때의 FFT 분석이다. L 필터와 비교하여 20 kHz에서의 고조파가 매우 감쇄되었다.

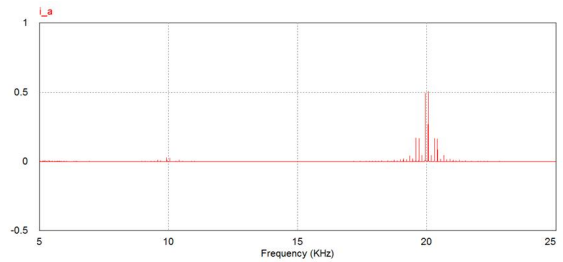


그림 6 L필터를 적용한 멀티레벨 컨버터의 출력 전류 FFT

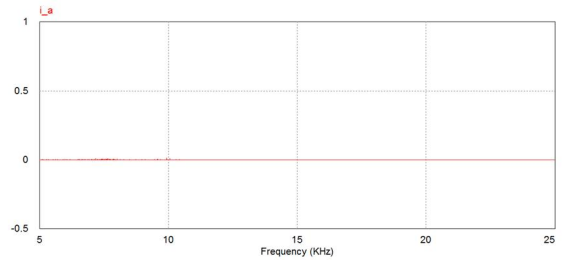


그림 7 LLCL필터를 적용한 멀티레벨 컨버터의 출력 전류 FFT

3. 결론

본 논문에서는 멀티레벨 컨버터의 PWM 성분의 고조파 저감 효과를 갖는 필터를 분석하고 비교하였다. 기존의 L 필터와 비교하여 LLCL 필터를 사용하면 적합한 설계에 따라 거의 같은 필터 인덕터의 용량을 가지고 특정 주파수 영역에서 매우 큰 고조파 감쇄를 기대할 수 있다.

필터를 비교하고 타당성을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였고, LLCL 필터가 기존의 필터와 비교하여 높은 감쇄 효과를 가지는 것이 확인되었다.

참고 문헌

- [1] G. Grandi, C. Rossi, D. Ostoic, D. Casadei, "A New Multi level Conversion Structure for Grid Connected PV Applications", IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol. 56, pp 4416 4426, Nov 2009.
- [2] N. A. Rahim, Saad Mekhilef, "Implementation of Three Phase grid Connected Inverter for Photovoltaic Solar Power Generation System" Proceedings IEEE. PowerCon 2002. Vol 1, pp. 570 573., Oct 2002.
- [3] O. Lopez, R. Teodorescu, J. Doval Gandoy, "Multi level transformerless topologies for single phase grid connected converters" IEEE. IECON 2006, pp. 5191 5196, 2006.
- [4] Tae Jin Kim, Dae Wook Kang, Yo Han Lee and Dong Seok Hyun, "The analysis of conduction and switching losses in multi level inverter system", PESC. 2001 IEEE Vol. 3, pp. 1363 1368, 2001.