

MW급 풍력발전기용 전력변환장치 개발

문준선, 곽상현, 최미선, 오용승, 안강순
(주)윌링스

Development of MW Wind Power Conversion System

Joon sun Moon, Sang hyun Kwak, Mi seon Choi, Yong Seung Oh, Kang Soon Ahn
Willings. Co., Ltd.

ABSTRACT

본 논문에서는 고전력 밀도 및 고효율을 목표로 한 MW급 풍력발전용 전력변환장치 시스템을 제안한다. 이 시스템은 스택을 병렬로 구성하여 시스템의 전체 효율을 높였으며 LCL 필터 및 수냉식 방열 방식을 사용하여 시스템의 사이즈를 줄임으로서 전력밀도를 향상시켰다. 제안된 시스템의 타당성을 검증하기 위하여 500kW급 스택 4병렬을 이용하여 MW급 풍력발전 전력변환 장치 시스템을 제작 및 실험하였다.

1. 서 론

근래 후쿠시마 원자력 발전 사고 및 고유가 파동으로 인하여 신재생 에너지에 관심이 더욱 고조 되고 있다. 신재생에너지 중 풍력은 해상 및 육상에 설치 가능하고, 대용량화 할 수 있다는 점과 기후 변화에 대응할 수 있는 원천적인 에너지라는 점에서 더욱 각광 받고 있다. 하지만 발전기의 용량이 증대됨에 따라 전체 시스템 공간의 30% 정도를 차지하고 있는 필터의 규모 또한 커지고 있으며 소형, 경량화 및 고전력 밀도에 많은 어려움을 가지고 있다. [1] 이에 본 논문에서는 고효율 및 고전력 밀도를 갖춘 풍력발전용 전력변환 장치 시스템을 제안한다. 시스템의 고효율을 위해 병렬 운전 기법을 연구하였으며 밀도를 높이기 위하여 인버터의 방열 방식을 수냉식 방열구조로 하였으며 LCL필터를 사용하여 시스템의 공간을 최소화 하였다. 제안된 시스템의 타당성을 입증하기 위하여 MW급 인버터를 제작하였다.

2. 본 론

2.1. MW급 전력변환 시스템의 구조

그림 1은 컨버터 측 스택 4기와 인버터 측 스택 4기, LCL 필터를 갖춘 풍력용 전력변환시스템 블록다이어그램이다. 전류 증가에 따라 시스템의 손실이 증가하는 특성을 감안하여 스택 4기를 병렬 시스템으로 구성하였고, 병렬구조로 연결된 스택의 전류가 한 쪽으로 치우치 현상을 막기 위하여 Balancing Inductor를 사용하였으며 IGBT를 보호하기 위하여 암 단락 보호회로를 사용하여 컨버터 및 인버터를 구성하였다.

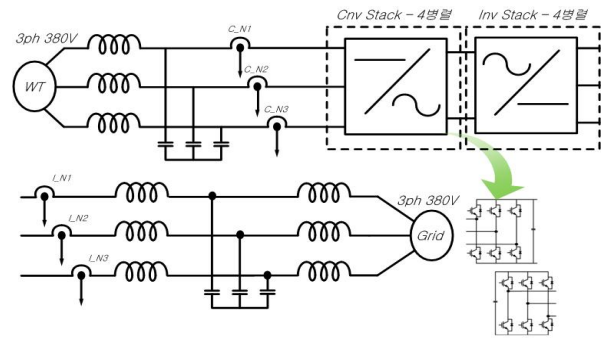


그림 1 전력변환 시스템 블록다이어그램
Fig. 1 Power Conversion system block diagram

그림 2는 계통 측 LCL 형태의 3단 필터에 관한 블록 다이어그램이다. 기존 LC필터 방식에 비해 파라미터 선정 과정은 매우 복잡하지만 필터의 크기 및 부피를 줄일 수 있어 전력 밀도를 높일 수 있으며, 비용을 절감할 수 있어 대용량 인버터의 경우 반드시 필요한 기술이다.

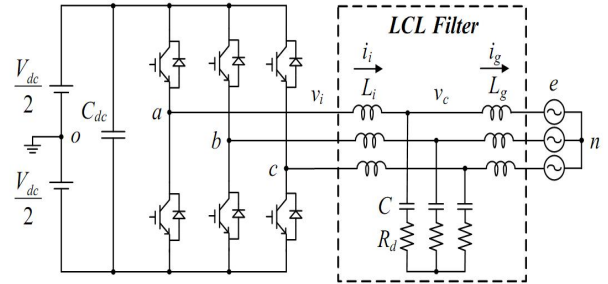


그림 2 3상 인버터와 LCL 필터
Fig. 2 3phase Inverter & LCL Filter

2.2 LCL 파라미터 선정

다음은 LCL 필터의 파라미터를 선정하기 위하여 기준임피던스 및 기준 인덕턴스, 기준 커패시턴스를 구하는 식이다.

$$Z_b = \frac{E^2}{P}, L_b = \frac{Z_b}{\omega_1}, C_b = \frac{1}{\omega_1 Z_b} \quad (1)$$

위 식에서 E는 선간전압, P는 인버터 정격전력, ω_1 은 기본

주파수의 각속도인 $2\pi f_1$ 를 나타낸다. 일반적으로 스위칭 주파수와 계통주파수를 고려하여 출력 전류의 THD를 선정하여야 하며, 제어하고자 하는 THD를 고려하여 필터 값을 선정하여야 한다. 일반적으로 계통 측 출력전류 THD는 5% 이내로 설계하여야 하나 인버터 측 출력 리액터의 THD를 5% 이내로 선정하는 경우 인버터 측 인덕터의 값이 커지게 되고, 공진주파수가 낮아져 제어가 어렵게 된다. 반면 이 값을 30% 이상으로 하는 경우 공진주파수가 커져 스위칭 주파수에 가까워지므로 THD는 5 ~ 30% 범위 내에 있도록 설계한다. 이를 고려해 인버터 측 리액터(L_i)를 계산하는 식은 다음과 같다.^[3]

$$L_i = \frac{f_1}{f_{sw}} \frac{L_b}{THD} \sqrt{\frac{\pi^2}{18} \left(\frac{3}{2} - \frac{4\sqrt{3}}{\pi} m_a + \frac{9}{8} m_a^2 \right)} \quad (2)$$

필터 커패시터를 선정하기 위해서는 정격전력과 역률의 관계를 고려하여야 하며 일반적으로 커패시터에 유입되는 무효전력의 양은 계통 측면에서 적절한 역률을 유지하기 위해 인버터 정격 피상전력의 5% 이내로 선정한다.

$$C \leq x C_b \quad (3)$$

위 식에서 C_b 는 커패시턴스의 기준 값이고, x 는 무효전력 흡수율로 커패시턴스 기준 값에 대한 감쇄 비율을 나타낸다. 계통인덕턴스(L_g)는 전류 리플 감쇄율 RAF_{sw} 를 선정하면 다음 식으로 계산된다.

$$L_g = \frac{RAF_{sw} + 1}{RAF_{sw} \times C \times \omega_{sw}^2} \quad (4)$$

3. 실험

표 1 풍력 시스템 파라미터 (인버터 스택 1대당)
Table 1 Wind System Parameters

용량 [kW]	250	DC Link C [uF]	13827
입력 전압 [V]	690	CT [A]	300 이상
입력 전류 [A]	210	filter C [uF]	120
L_i [uH]	122	L_g [uH]	76

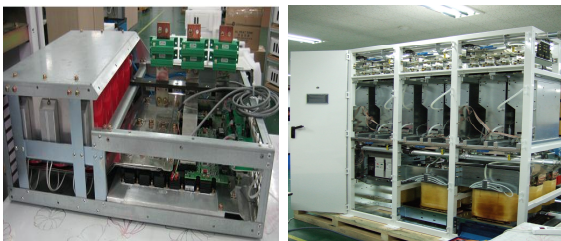


그림 3 수냉식 방열판을 적용한 인버터
Fig. 3 Inverter using water-cooled heat sink

그림 3은 제안된 표 1의 파라미터 값을 이용하여 구성된 인버터 스택 및 250kW급 스택을 4기를 병렬로 연결한 MW급 인버터 사진이다. LCL 필터 및 수냉식 방열판 방식을 채택하여 $315[kW/m^3]$ 의 높은 전력 밀도를 나타낸다.

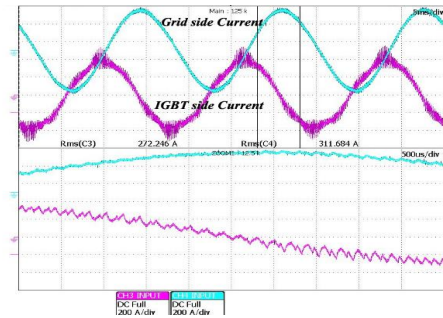


그림 4 IGBT, 계통 측 전류 파형
Fig. 4 IGBT, Grid side current waveform

CH 3은 IGBT의 출력 전류를 나타내며 LCL 필터를 통과하기 전의 전류 파형이다. CH 4번은 LCL 필터를 적용한 리액터의 출력 전류로 계통에 주입되며 전류의 파형이 매우 양호한 특성을 나타내고 있다.

Normal Mode	Uover: 50mVms	13 : 50mVms	Normal Mode	Uover: 50mVms	13 : 50mVms
	Iover: 50mVms	Integ: Reset		Iover: 50mVms	Integ: Reset
UrmsΣA	1.10196 kV		UrmsΣA	1.10247 kV	
Irms3	0.95533 kA		Irms3	0.85714 kA	
P3	1.05273 MW		P3	0.94497 MW	
η1	95.236 %		η1	94.245 %	

그림 5 1[MW] 출력시 컨버터 및 인버터 효율
Fig. 5 1[MW] Converter & Inverter Efficiency

DC링크 전압 1100V로 제어했을 때 출력 최대 용량은 1.05MW이며, 이때 컨버터의 효율은 94.245%이며 인버터의 효율은 95.236%를 나타낸다.

4. 결론

본 논문에서는 MW 풍력용 전력변환 장치 시스템을 제안하였다. 250kW 개별 스택을 병렬로 구성하여 시스템의 전체 효율을 높였으며 LCL 필터 및 수냉식 방열판 방식을 채택하여 시스템 사이즈를 줄임으로서 향후 풍력 MW급 전력변환기술에 영향력이 있을 것으로 사료된다.

이 논문은 호남 광역경제권 선도산업의 "MW급 풍력발전 기용 전력변환기 개발" 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] "750kW 풍력발전 시스템 전력변환 장치의 시험" 권세진, 손윤규, 장성덕, 서재학, 오종석, 강신일, 황진수, 대한전기학회 논문지 2005. 7
- [2] "Wind Power in Power System", Thomas Ackermann, Wiley Press, 2005.
- [3] M. Liserre, F. Blaabjerg, and S. Hansen, "Design and control of an LCL filter based active rectifier," Proc. of IAS 2001, pp. 299-307, Sept./Oct. 2001.