

3 레벨 NPC 컨버터/인버터의 3 병렬 운전

이승용, 설승기

서울대학교 공과대학 전기컴퓨터공학부

Parallel Operation of Three 3 level Neutral-Point-Clamped Converter/Inverters

Seung-Yong Lee, Seung-Ki Sul

School of Electrical Engineering & Computer Science, Seoul National University, Seoul, 151-744, Korea

ABSTRACT

본 논문에서는 배전급 고전압(1kV~7.2kV) 계통 연계가 가능한 새로운 3 병렬 3 레벨 NPC(Neutral-Point-Clamped) 컨버터/인버터 회로방식을 제안한다. 이 회로방식은 정격 용량의 1/3 크기를 가지는 NPC 컨버터/인버터 모듈을 3 병렬로 구성하면서 직류단 캐패시터를 병렬 연결하여 중성점 전위 변동을 저감할 수 있는 특징을 가진다. 제안된 3 병렬 3 레벨 NPC 컨버터/인버터는 기존의 NPC 컨버터의 장점을 가지면서 동시에 용량 확장이 가능하고, 하나의 모듈이 고장 상태가 되더라도 부분 운전이 가능하여 시스템의 신뢰성을 증대시킬 수 있다. 본 논문에서는 제안된 중성점 전압 제어 전략을 실험을 통하여 검증한다. 정밀한 중성점 전압 제어를 위한 중성점 전류 제어 방법이 3병렬 구조에서 안정적으로 동작함을 컴퓨터 모의 실험을 통해 검증한다.

전력망 규정에 의해 필수적으로 사용되고 있으며[1], 또 대용량 풍력 발전기는 다상전동기로 구성하기 용이하다. 따라서 제안된 전력 변환 회로 방식은 기존의 3상 Back-to-Back 컨버터 방식에 비해 큰 추가 비용 없이 구현이 가능하다. 접근성이 떨어지는 해상 풍력 발전 시스템을 고려했을 때, 고장율이 높은 전해 캐패시터 대신 소용량의 필름 캐패시터를 적용하는 것이 필수적이다. 전해 캐패시터 용량에 비해 줄어드는 직류단 캐패시터 용량은 제안된 직류단이 병렬 연결된 구조를 통하여, 줄어드는 필름 캐패시터의 용량에도 불구하고 중성점 전압 변화폭을 저감할 수 있어 전력 변환 회로의 안정적인 동작이 가능하다. 표 1 은 5MW 전력 변환 장치 구성 시, 3 병렬된 1 개 모듈의 제정수값이다. 직류단 캐패시터 용량은 1666kW의 20%에 해당하는 전력을 5 샘플링(Sampling) 시간만큼 견딜 수 있도록 산정되었다.

표 1 1666kW NPC 컨버터/인버터 모듈 제정수
Table 1 Parameters of 1666kW NPC Converter/Inverter

항목	값
정격 용량	1666kW
입력단 선간 전압	1800 V_{rms}
직류단 전압	3750 V
직류단 캐패시턴스	600 μF (1200 μF 직렬)
입력단 인덕턴스	1mH
병렬 기생 인덕턴스	1 μH
스위칭 주파수	1kHz

1. 서론

최근 해상 풍력 발전기의 단위 용량이 증대되면서 이에 적합한 대용량 전력 변환 회로 방식들이 제안되고 있다. 특히 해상 풍력 발전 단지는 접근성이 떨어지므로 고장율이 높은 전해 캐패시터를 필름 캐패시터로 교체하여 유지 보수 비용을 감소시키려는 노력이 진행되고 있다.

2. 제안된 3병렬 3레벨 NPC 컨버터/인버터

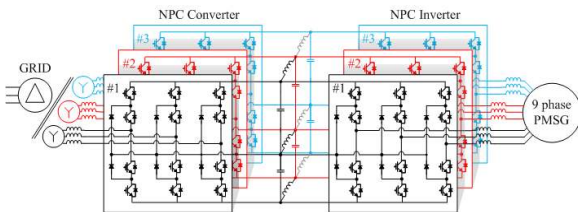


그림 1 제안된 3병렬 3레벨 NPC 컨버터/인버터 구성도
Fig. 1 Proposed 3 Parallel 3 Level NPC Converter/Inverter

그림 1은 제안된 전력 변환 회로 방식이다. 각각의 컨버터/인버터는 전체 정격 용량의 1/3 이고, 수전단과 발전단은 전기적으로 절연되어 있으나 직류단은 병렬 연결되어 있다. 대용량의 풍력 발전기의 계통 연결 전력변환 장치는 절연 변압기가

2.1. 중성점 전압 균형 제어

2.1.1 전압 불평형 현상과 음색 전압의 선택

컨버터 또는 인버터에서 전압을 형성하기 위해 SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation)을 사용할 경우 직류단 캐패시터의 중성점으로 기본과 주파수의 3배 주파수를 가진 중성점 전류가 흐르는 것이 알려져 있다.[2] 이에 따라 윗 단 캐패시터 전압(V_{dch})과 아랫단 캐패시터 전압(V_{dcl})의 불균형 현상이 발생하며, 그 전압 변동폭이 심할 경우, 각 소자가 부담해야 하는 전압이 각 소자의 정격 전압을 초과하여 소자가 파괴될 가능성이 있다. 특히, 소용량 캐패시터를 가진 전력 변환 회로 방식은 전압 변화폭이 크므로, 적절한 중성점 전압 균형을 해야 할 필요가 있다.[3] 구간에 따라 중성점 전류와 음색

전압과의 함수관계에서 선형내삽(linear interpolation)법을 사용하여, 원하는 중성점 전류를 윗셋 전압을 조절함으로써 얻을 수 있음이 알려져 있다.[4] 본 회로방식에서는 이 계산 방법을 이용하여 보다 정밀하게 중성점 전류를 생성하도록 한다. 다만 윗셋 전압 제한 시에는 가장 가까운 윗셋 전압을 택하고, 두 개 이상의 윗셋 전압 해를 가질 때에는 SVPWM(Space Vector Pulse Width Modulation)방식에 가까운 전압을 선택하도록 한다. 그림 2의 파형은 5kW급 축소 모델 인버터 모듈 1개에서 영구자석 동기 전동기를 구동하면서 중성점 전압을 제어했을 때 얻은 직류단 전압과 상전류, 극(Pole)전압이다. 이를 통해 중성점 전류 제어가 안정적으로 동작함을 알 수 있다.

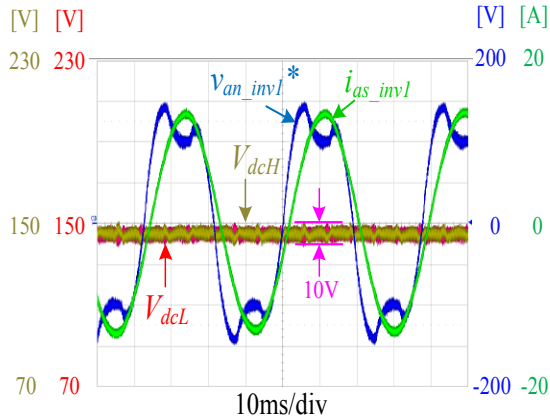


그림 2 5kW 3상 NPC 인버터의 중성점 전위 균형 제어 실험 결과
Fig. 2 Experiment result of DC link voltage balancing control of 5kW NPC inverter

2.2 Back-to-Back 회로 방식

최근 개정된 전력망 규정에 적합한 특성을 가지기 위해서는 양방향 전력 변환 장치가 유리한 것으로 알려져 있고, 중성점 전류 제어의 측면에서도 이 방식이 유리하다. 하나의 NPC 컨버터로는 중성점 전류 제어에 한계가 있지만, 컨버터/인버터를 Back-to-Back 방식으로 구성하면 중성점 전류 제어 성능을 크게 향상시킬 수 있다.[5] 즉, 컨버터 또는 인버터의 한계로 생성되는 중성점 전류를 상쇄시키기 위해 인버터 또는 컨버터에서 이에 해당하는 중성점 전류를 상호 보완적으로 생성함으로써 직류단 캐패시터로 들어가는 중성점 전류를 최소화하여 직류단 중성점 전위 변동을 최대한 억제할 수 있다.

2.3 직류단 3 병렬 컨버터/인버터

제안된 회로방식은 직류단 캐패시터가 병렬 연결되어 있으므로, 한 컨버터/인버터에서 보이는 캐패시터 크기는 개별 컨버터/인버터의 직류단이 분리 되었을 때에 비하여 3배이며, 인터리빙(Interleaving) 운전으로 인해 등가 스위칭 주파수 또한 개별 컨버터/인버터의 스위칭 주파수의 3배가 된다. 따라서 직류단 3 병렬 구조에 의하여 스위칭 주파수에 의한 전압 변동폭을 1/9까지 감소시킬 수 있다. 그림 3은 전력전자 회로 전용 시뮬레이션 언어인 PSIM을 이용하여 5MW급 전력 변환장치 구성 시 1개 모듈 운전과 3병렬 운전시의 직류단 캐패시터 전압 변동을 모의 실험한 것이다. 스위칭 주파수에 의한 전압 변동은 1/9 정도로 저감되었지만, 기본과 주파수의 3배 주파수로

중성점에 영향을 미치는 항이 남아 있어, 최종적으로 2/3정도로 저감되었음을 확인할 수 있다.

또한, 병렬로 연결된 회로방식은 시스템의 일부에 고장이 발생하였을 경우, 고장 모듈을 분리시키면 나머지 모듈은 독립적으로 부분 운전이 가능하여 전체 시스템의 신뢰도를 향상시키는 부수적인 장점이 있다.

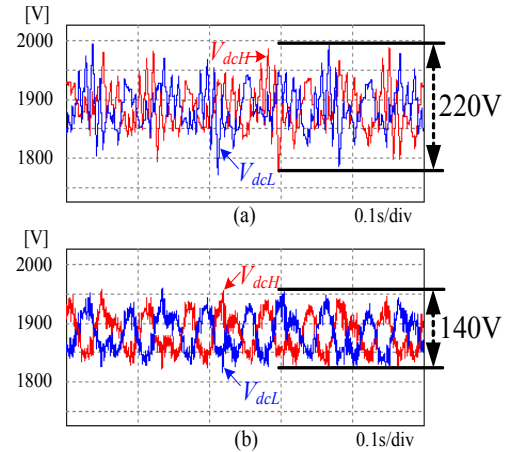


그림 3 모의 실험 시 직류단 캐패시터 전압 변동 : (a) 1 개 모듈 운전 시 (b) 3 병렬 운전 시

Fig. 3 Simulation result of Fluctuations of DC-link capacitors : (a) 1 module operation (b) 3 module parallel interleaving operation

3. 결론

본 논문에서는 3병렬된 NPC 컨버터/인버터 회로방식을 제안하였다. 소용량 직류단 캐패시터를 사용할 때, 정밀한 중성점 전압 균형 제어를 위한 회로 방식과 제어 기법을 이용하여 전압 변동폭을 최소화할 수 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 전력 변환 회로와 제어 기법을 통하여, 전체 전력 변환 시스템의 수명을 연장시키고 부분 운전이 가능하여, 풍력 발전 시스템의 신뢰성을 향상시키는 효과를 얻을 수 있다.

참고 문헌

- [1] Grid Code, High and extra high voltage, EON Netz, German TSO
- [2] S.Ogasawara, H.Akagi. "Analysis of variation of neutral point potential in neutral point clamped voltage source PWM inverters".Conf. Rec. IEEE-IAS Annual Meeting 1993. Page(s): 965-970.
- [3] 김장환, "멀티레그 멀티레벨 전압형 인버터를 위한 전압변조기법의 일반화에 대한 연구", pp. 112-182, 박사 학위 논문, 2006
- [4] Wang Chenchen, Li Yongdong, "A New Balancing Algorithm of Neutral-Point Potential in the Three-Level NPC Converters", IAS'08, Edmonton, Alberta, Canada, 2008
- [5] J. Pou, R. Pindado, D. Boroyevich, P. Rodriguez, "Limits of the Neutral Point Balance in Back-to-Back Connected Three-Level Converters", IEEE Trans. Vol. 19, No.3, May 2004.