

다중펄스 컨버터와 PWM 컨버터로 구성된 Back-to-Back 컨버터의 계통연계 성능 분석

심명보, 정종규, 김종원, 한병문
명지대학교

Performance analysis of Back-to-Back converter composed of multi-pulse converter and PWM converter

Myong-Bo Shim, Jong-Kyou Jeong, Jong-Won Kim, Byung-Moon Han
Myongji University

ABSTRACT

본 논문은 수십 MW용량의 풍력단지를 교류전력망에 연계하기 위한 다중펄스 컨버터와 PWM 컨버터로 구성된 Back-to-Back 컨버터를 제안하였다. 시뮬레이션 모델개발과 하드웨어 축소모형 실험을 통해 제안하는 Back-to-Back 컨버터의 시스템 구성 및 동작특성에 대해서 분석하고 3-레벨 24-펄스 컨버터를 영전압과 점호각을 제어할 경우와 점호각만을 제어할 경우 제어상의 장단점과 제어성능을 비교분석하였다.

1. 서론

최근 에너지고갈과 환경보호 문제로 선진 각국에서는 육상이나 해상에 대규모 풍력단지를 건설하여 전력을 생산하고 이를 효율적으로 이용하는 문제에 대해 많은 연구를 수행하고 있다. 대규모 풍력단지를 기존의 전력망에 효율적으로 연계하기 위해 Back-to-Back 전압원 컨버터를 필요로 하는데 이 때 Back-to-Back 컨버터의 효율이 중요한 문제가 된다.

본 논문에서는 3-레벨 24-스텝 컨버터와 3-레벨 PWM 컨버터로 구성된 Back-to-Back 컨버터의 구성과 동작특성을 분석하고 3-레벨 24-스텝 컨버터의 2가지 제어방식에 따른 제어상의 장단점 비교분석을 통해 향후 대규모 풍력발전단지를 교류전력망에 연계하는데 효율적인 방안을 비교분석하였다.

2. 본론

2.1 다중펄스 컨버터

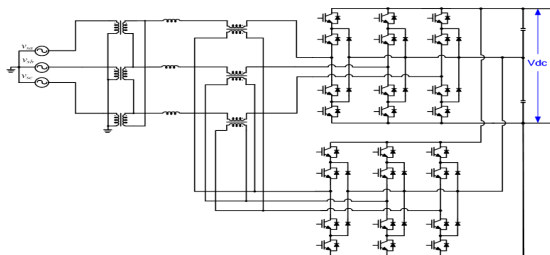


그림 1 보조변압기를 이용한 다중스텝 전압원 컨버터
Fig. 1 Configuration of multi-step voltage source converter using auxiliary transformer

본 논문에서는 그림 1과 같이 6-펄스 컨버터를 기본모듈로

2대의 6-펄스 컨버터를 병렬로 연결한다음 3대의 보조 변압기를 사용하여 출력을 직렬로 연결하여 다중펄스 컨버터를 구성하였다

2.2 출력파형 생성 및 출력전압 크기 제어

제안하는 Back-to-Back 컨버터가 연계된 교류계통의 무효전력을 독립적으로 제어하기 위해서는 다중펄스 컨버터의 교류출력전압을 제어할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 교류출력전압의 크기를 제어하기 위해 3-레벨로 구성된 다중펄스 컨버터의 영전압폭 γ 를 조절하였다.

그림 2는 양의 스위치 A+, 음의 스위치 A-, 그리고 영의 스위치 A_{AC}로 구성된 3-레벨 반 브리지 컨버터의 한 상에 대한 회로와 이에 따른 출력전압의 파형을 나타낸 것이다.

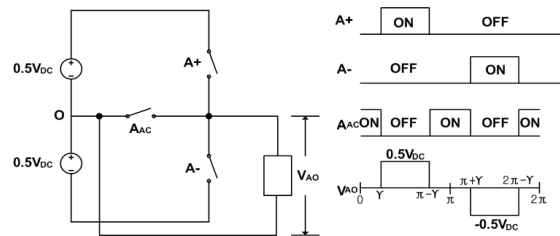


그림 2 단상 3-레벨 폴과 출력전압

Fig. 2 Single phase 3-level pole and output voltage

각 스위치는 교대로 열림과 닫힘을 반복할 때 직류 캐패시터 전압의 중간점 O에 대한 폴 A의 중양점에서의 출력전압 V_{AO}는 영전압 레벨을 갖는 준구형파를 갖는다. 이 때 3-레벨 반브리지 컨버터로 구성된 24-펄스 컨버터의 출력전압 기본파 크기는 식 (1)과 같다.

$$V_{AO} = \frac{2}{\pi} V_{DC} \cos \frac{\pi}{24} \cos \gamma \quad (1)$$

Back-to-Back 컨버터에서 DC-link전압 V_{DC}를 일정한 값으로 제어하고 영전압 폭 γ 를 조절하게 되면 식(1)로부터 출력전압의 크기를 조절할 수 있음을 알 수 있다. 이렇게 생성된 상단컨버터의 출력전압과 하단 컨버터의 출력전압이 보조변압기를 통해 합성되어 최종적으로 출력전압을 생성하게 된다.

2.3 시스템 구성 및 제어알고리즘

본 논문에서는 그림 3과 같이 3-레벨 다중펄스 컨버터 1대와 2대의 3-레벨 PWM 컨버터를 병렬로 연결하여 Back-to-Back 컨버터를 구성하였다.

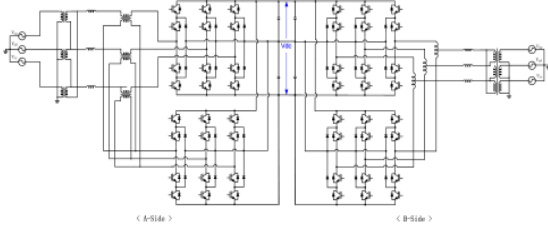


그림 3 제안하는 Back-to-Back 컨버터의 시스템 구성도
Fig. 3 Configuration of proposed Back-to-Back converter system

그림 4는 영전압과 점호각 제어시의 제어블록도이고 그림 5는 점호각 제어시의 제어블록도이다. 영전압과 점호각 제어시 다중펄스 컨버터는 DC-link전압과 무효전력을 제어하고 PWM 컨버터는 유무효전력을 제어하게 되는데 이 때 다중펄스 컨버터는 12-펄스로 동작하게 된다. 그리고 점호각만을 제어할 경우에는 다중펄스 컨버터는 무효전력의 제어와 함께 영전압 폭 γ 를 일정하게 고정하여 출력전압 파형은 24-펄스로 출력되고 PWM 컨버터는 유무효전력을 제어하게 된다.

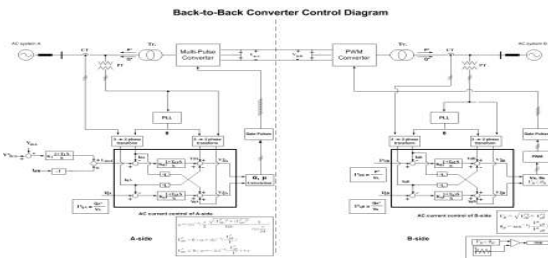


그림 4 영전압과 점호각 제어 시 Back-to-Back 컨버터 제어기

Fig. 4 The control diagram of Back-to-Back converter with zero-voltage width and firing angle control

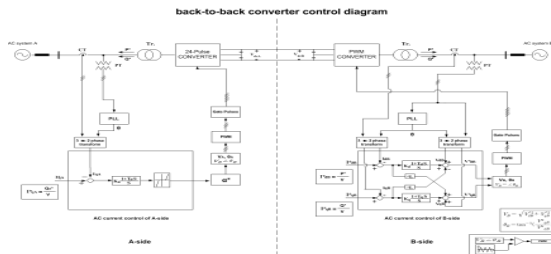


그림 5 점호각 제어 시 Back-to-Back 컨버터 제어기
Fig.5 The control diagram of Back-to-Back converter with firing angle control

2.4 시뮬레이션 및 하드웨어 실험 결과

제안하는 Back-to-Back 컨버터의 동작특성 및 제어성능을 확인하기 위해 PSCAD/EMTDC 소프트웨어로 시뮬레이션 모델을 개발하고 축소모형을 제작하여 실험을 수행하였다. 시뮬

레이션과 하드웨어 모형의 시스템 용량은 4[kVA]이고 다중펄스 컨버터와 다중펄스 컨버터의 스위칭 주파수는 각각 60[Hz]와 10[kHz]로 설정하였다.

그림 6과 7은 각각 시뮬레이션과 하드웨어 실험결과로 2가지 제어방식에서의 유효전력제어 성능을 비교한 그림이다. 그림에서 왼쪽은 영전압과 점호각을 제어할 경우이고 오른쪽은 점호각만을 제어할 경우의 결과이다. 2가지 제어방식 모두 실제 유효전력이 기준 유효전력을 잘 추종하고 있음을 확인할 수 있다.

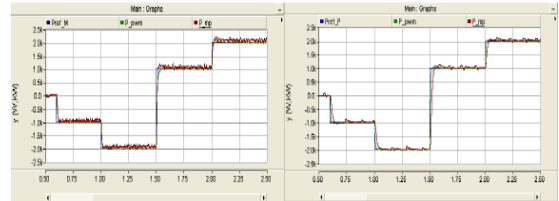


그림 6 2가지 제어방식의 유효전력제어 성능 비교
Fig.6 performance comparison of active power control in two control method

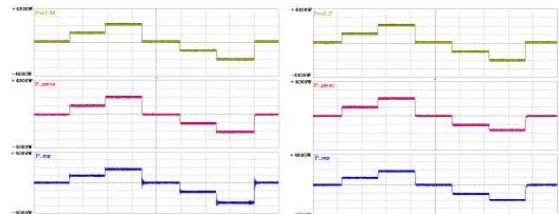


그림 7 2가지 제어방식의 유효전력제어 성능 비교
Fig.7 performance comparison of active power control in two control method

3. 결론

본 논문에서는 다중펄스 컨버터와 PWM 컨버터로 구성된 Back-to-Back 컨버터의 동작특성 및 제어성능에 대해서 기술하였다. 다중펄스 컨버터는 교류출력전압의 점호각 및 영전압 폭 제어에 의해, PWM 컨버터는 교류출력전압의 크기 및 점호각 제어에 의해 유무효전력을 독립적으로 제어할 수 있다. 개발된 시뮬레이션 모델과 하드웨어 축소모형 실험결과를 통해 향후 대규모 풍력발전단지를 교류전력망에 연계하는데 효율적이라고 기대된다.

본 논문은 지식경제부 지원으로 수행한 "IT 기반의 대용량 전력수송 제어시스템"의 연구 결과물로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고 문헌

[1] Kalyan K. Sen, Eric J. Stacey, "UPFC - Unified Power Flow Controller : Theory, Modeling, and Application", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 13, No. 4, pp. 1453-1460, 1998.
[2] 이해연, 이지현, 한병문, 리위룡, 최남섭, "직류송전 적용을 위한 18-스텝 Back-to-Back 전압원 컨버터에 관한 연구", 대한전기학회 학술대회 논문집, vol. 58, No. 4, pp.748-755, 2009.