

다중펄스 컨버터와 PWM 컨버터로 구성된 Back-to-Back STATCOM의 동작 분석

이혜연, 한병문
명지대

Operation Analysis of Back-to-Back STATCOM with Multi-Pulse Converter and PWM Converter

Hye-Yeon Lee, Byung-Moon Han
Myongji University

Abstract - 본 논문은 한전 전력연구원이 주관하고 명지대학교와 (주)효성이 참여하는 연구과제의 결과물로서 다중펄스 컨버터와 PWM 컨버터로 구성된 20MVA급 Back-to-Back STATCOM의 시스템 구성 및 제어·동작특성에 대하여 정리하였다. 한편 전력연구원과 (주)효성이 국책과제를 통해 순수 국내기술로 개발한 10MVA급 다중펄스 STATCOM의 활용방안으로 10MVA급 PWM STATCOM 1기를 추가하여 두 STATCOM 각각의 DC link단을 연계시킨 20MVA급 Back-to-Back STATCOM을 구성하고 제어 알고리즘을 개발하였다. 또한 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용하여 개발한 Back-to-Back STATCOM의 제어 및 동작특성을 분석하였다.

1. 서 론

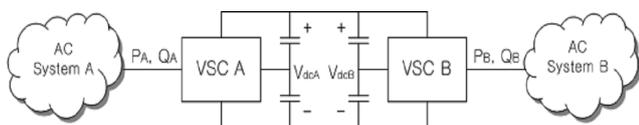
최근 에너지고갈과 환경보호 문제로 선진 각국에서는 신재생에너지원에 의한 전력생산과 이용에 대해 많은 연구를 수행하고 있다. 신재생에너지원에서 생산되는 전력은 그 양이 증가하면서 통상 대용량 전압원 컨버터를 통해 직류송전방식으로 기존전력망과 연계된다.

전압원 컨버터에는 단일 브리지를 구성하고 있는 각 스위칭 소자를 PWM 방식으로 동작하는 PWM 컨버터, 그리고 2기 이상의 브리지를 변압기로 결합하여 출력파형을 형성하는 다중펄스 컨버터가 있다. PWM 컨버터의 경우 시스템구성이 간단하나 스위칭 손실이 크고, 다중펄스 컨버터의 경우 스위칭 손실은 적으나 시스템구성이 다소 복잡하다. 본 연구에서는 현재 (주)효성 창원 공장에 설치되어 있는 다중펄스 컨버터를 활용하는 방안으로 다중펄스 컨버터와 PWM 컨버터를 이용하여 Back-to-Back STATCOM을 구성하고, PSCAD/EMTDC 소프트웨어에 의한 시뮬레이션을 수행하여 컨버터의 동작과 성능 검증을 실시하였다.

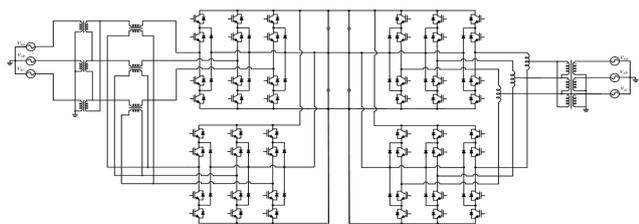
2. 본 론

2.1 Back-to-Back STATCOM

그림 1에 보이는 것처럼 Back-to-Back STATCOM은 주파수가 다른 2개의 교류계통을 연계하거나 직류송전 또는 대규모 풍력발전단지를 전력계통에 연계하는데 사용된다. 따라서 Back-to-Back STATCOM은 연계되는 2개 교류계통의 유·무효전력을 독립적으로 제어가능하고 양방향 전력조류를 제어 가능해야 한다.



〈그림 1〉 Back-to-Back STATCOM의 개념도



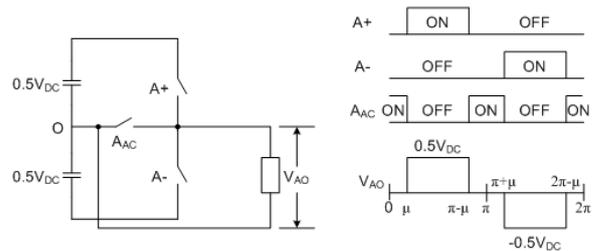
〈그림 2〉 20MVA급 Back-to-Back STATCOM 시스템 구성도

Back-to-Back STATCOM을 구성할 때 2개의 컨버터를 모두 PWM 컨버터로 구성하면 교류출력전압의 크기와 위상을 조절하는 것이 가능하므로 연계되는 2개 교류계통의 유·무효전력을 독립적으로 제어하는

것이 가능하다. 그러나 현재 수행하는 연구에서는 그림 2에 보인바와 같이 활용성을 고려하여 이미 제작된 다중펄스 컨버터와 PWM 컨버터를 결합하여 Back-to-Back STATCOM을 구성하였다. 이미 제작된 다중펄스 컨버터는 2개의 3-레벨 반 브리지와 주변압기, 보조변압기로 구성하였으며, 우측의 PWM 컨버터는 2개의 3-레벨 반 브리지와 주변압기로 구성하였다. PWM 컨버터와는 달리 다중펄스 컨버터는 점도각만 조절하고 교류출력전압의 크기는 고정되어 있어 유·무효전력을 독립적으로 제어하는 것이 불가능하다.

2.2 다중펄스 컨버터 P,Q 제어

구성한 Back-to-Back STATCOM가 연계된 교류계통의 유·무효전력을 독립적으로 제어하기 위해서는 다중펄스컨버터의 교류출력전압을 제어할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 교류출력전압을 제어하기 위해서는 3-레벨로 구성된 다중펄스컨버터의 영 전압 폭을 조절하여야 한다.



〈그림 3〉 3-레벨 펄스와 출력전압

그림 3은 양의 스위치, 음의 스위치, 영의 스위치로 구성된 3레벨 다중펄스컨버터의 한 상분의 등가회로와 그 출력전압의 파형을 나타낸 것이다. 이 회로에서 직류 캐패시터가 폴에 연결되고 각 스위치는 교대로 열리거나 닫힘을 반복할 때 직류 캐패시터 중간점 O에 대한 폴 중앙점에서의 출력전압 V_{AO} 는 그림 3과 같이 영 전압 레벨을 갖는 구형파로 나타난다. 이 때, 구형파 출력전압의 기본파는 식 (1)과 같다.

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

Back-to-Back STATCOM에서 v_{DC} 는 일정 값으로 제어되므로 식 (1)을 통해 영 전압 폭 μ 를 조절하면 출력전압의 크기를 제어할 수 있음을 알 수 있다. 식 (1)을 영 전압 폭 μ 에 대한 식으로 정리하면 식 (2)와 같다.

$$\mu = \cos^{-1} \left(\frac{\pi}{2} \frac{V_{AO}}{v_{DC}} \frac{1}{\cos \frac{\pi}{24}} \right) \quad (2)$$

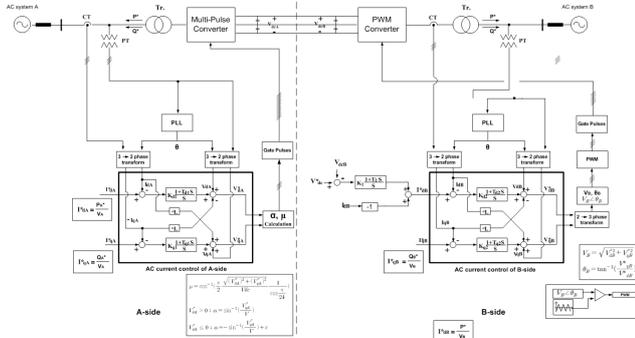
따라서 다중펄스컨버터에서 영전압 폭과 점도각을 제어하면 연계된 계통의 유·무효전력을 독립적으로 제어 가능함을 알 수 있다.

2.3 Back-to-Back STATCOM 제어 알고리즘

그림 4는 개발한 20MVA급 Back-to-Back STATCOM의 제어 구성도를 나타낸 것이다. 다중펄스 컨버터 측에서는 유·무효전력 제어를 수행하고, PWM 컨버터 측에서는 DC-link 전압 일정제어와 무효전력 제어를 수행한다. PWM 컨버터 측의 일정직류전압제어 시 유효전력의 feed-forward 부분을 두어 제어의 정밀도와 속응성을 개선하였다.

다중펄스 컨버터 측에서는 교류출력전압의 점도각과 영 전압 폭을 조절하여 유·무효전력을 독립적으로 제어한다. 이 때, 유·무효전력의 기준값을 입력받아 계통전압으로 나누어 유·무효전류 기준 값을 계산한 후, 실측 유·무효전류와 비교하여 그 오차를 계산하고, 이 오차가 PI제어기를 거쳐 다중펄스 컨버터가 출력해야 할 기준전압 값을 생성한다. 생성

된 출력전압 기준 값을 식 (2)에 대입하여 영 전압 폭 μ 를 생성하고, 또한 점호각 α 를 생성한다. 생성된 점호각 α 와 영전압 폭 μ 를 고려하여 게이트 신호를 인가하여 컨버터를 동작시킨다. PWM 컨버터 측에서는 DC-link 전압 기준 값을 입력받아 실측 DC-link전압과 비교하여 그 오차를 계산하고, 이 오차가 PI제어기를 거쳐 유효전류 기준 값을 생성한다. 또한 무효전력 기준 값을 입력받아 계통전압으로 나누어 무효전류 기준 값을 계산하고, 실측 유·무효전류와 비교하여 오차를 계산하고, 이 오차가 PI제어기를 거쳐 PWM 컨버터가 출력해야 할 기준전압 값을 생성한다. 생성된 컨버터 출력전압 기준값과 1kHz의 삼각파를 비교하여 펄스폭 변조 방식에 의해 게이트 신호를 PWM 컨버터에 인가한다.



〈그림 4〉 20MVA급 Back-to-Back STATCOM 제어 구성도

2.4 성능평가 시뮬레이션

20MVA급 Back-to-Back STATCOM의 동작특성 및 제어기 성능검증을 PSCAD/EMTDC 소프트웨어로 시뮬레이션 모델을 개발하여 실시하였다. 시뮬레이션 모형은 그림 2와 같이 구성하였으며 시뮬레이션에 사용된 회로정수는 표 1과 같다.

〈표 1〉 시뮬레이션 회로정수

모선 전압		3 ϕ , 22.9[kV]	
모선 주파수		60[Hz]	
직류 커패시터		1800[μ F]	
변압기	다중펄스 컨버터	주변압기	10[MVA]
	PWM 컨버터	보조변압기	5.5[MVA]
		주변압기	10[MVA]

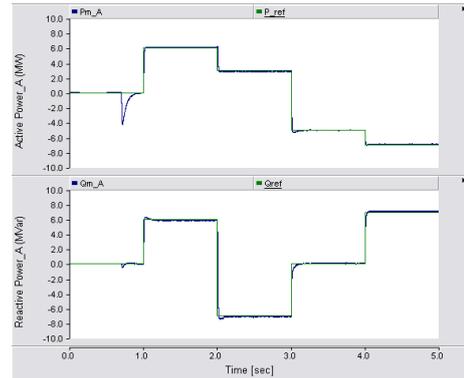
20MVA급 Back-to-Back STATCOM 시스템의 성능을 검증하기 위해서 표 2와 같은 시나리오로 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션 시작 후 0.5초에 PWM 컨버터를 먼저 동작시켜 DC-link를 일정전압으로 충전시킨 후 0.7초에 다중펄스 컨버터를 동작시켰다. 1초부터 3초까지는 시스템 A에서 B로 전력을 전송하다가 3초에 시스템 B에서 A로 전력을 전송하도록 시나리오를 구성하였다. 또한 시스템의 유효전력과 무효전력 제어 성능을 분석하기 위해서 표 2에 나타난 바와 같이 1초 간격으로 유효전력과 무효전력의 기준 값을 변경하였다.

〈표 2〉 시뮬레이션 시나리오

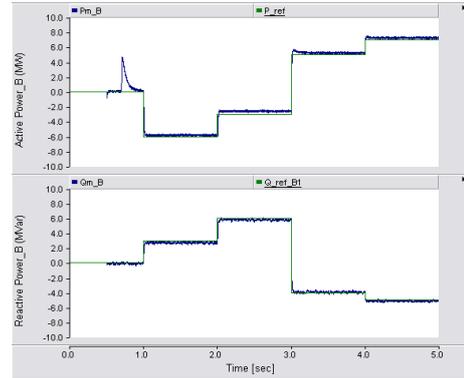
시간(초)	1~2	2~3	3~4	4~5
P_A^* [MW]	6	3	-5	-7
Q_A^* [MVar]	6	-7	0	7
V_{DC} [kV]	4.5			
Q_B^* [MW]	3	6	-4	-5

그림 5는 표 2에 나타난 시나리오에 따라 유·무효전류 기준 값을 변경했을 때의 제어기 성능을 보여주고 있다. 유·무효전력의 검출방향을 시스템 A에서 B로 기준을 정했으므로 결과파형에서 보듯이 유효전력의 부호에 따라 1~3초까지는 시스템 A에서 B로, 3~5초까지는 시스템 B에서 A로 유효전력이 전송되고 있음을 확인할 수 있다. 시뮬레이션 결과 실제 유효전력은 제어기의 기준신호를 큰 과도현상 없이 잘 추종함을 확인할 수 있으며, 유효전력 제어가 잘 수행되고 있음을 알 수 있다. 또한 무효전력은 각 시스템에서 독립적으로 제어하게 되는데, 시뮬레이션 결과에서도 확인할 수 있듯이 각 시스템에 상이한 무효전력 기준 값을 입력으로 주었을 때 각 시스템의 무효전력이 무효전력 기준 값을 잘 추종하고 있음을 알 수 있다. 또한, DC-link 전압이 일정

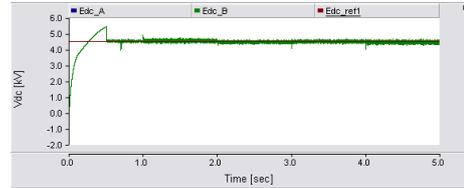
하게 제어되고 있음을 확인할 수 있다. 결과적으로 제안하는 시스템이 Back-to-Back STATCOM으로 잘 동작함을 알 수가 있다.



(a) 다중펄스 컨버터 유·무효전력



(b) PWM 컨버터 유·무효전력



(c) DC-link 전압

〈그림 5〉 20MVA급 Back-to-Back STATCOM 시뮬레이션 결과

3. 결 론

본 논문에서는 다중펄스 컨버터와 PWM 컨버터로 구성된 20MVA급 Back-to-Back STATCOM의 동작 특성에 대하여 기술하고 있다. 제안하는 Back-to-Back STATCOM의 경우 다중펄스 컨버터는 교류출력전압의 점호각 및 영 전압 폭 제어에 의해, PWM 컨버터는 교류출력전압의 점호각 및 크기 조절에 의해 유·무효전력을 독립적으로 제어 가능하다. 개발된 Back-to-Back STATCOM의 동작과 성능을 검증할 목적으로 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다.

향후 시뮬레이션 결과를 토대로 축소모형을 제작하여 실질적인 성능검증을 실시한 후, 실제 시스템을 제작 및 설치하여 운전될 예정이다.

감사의 글

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

[참 고 문 헌]

- [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] 한영성, 정경주, 최중윤, 김대희, 서인영, “10MVA STATCOM 설치 및 운영현황 사례 소개”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 371-372, 2008.
- [3] 이해연, 이지현, 한병문, 리위룡, 최남섭, “직류송전 적용을 위한 18-스텝 Back-to-Back 전압원 컨버터에 관한 연구”, 대한전기학회 논문지, vol. 58, No. 4, pp. 748-755, 2009.