

## 다중펄스 방식과 PWM 방식을 이용한 BTB STATCOM의 제어 알고리즘 개발

여상민, 최종윤, 서인영  
(주)효성 중공업연구소

### Design of Control Algorithm for BTB STATCOM Composed of Multi-Pulse Inverter and PWM Inverter

Sang-Min Yeo, Jong-Yun Choi, In-Young Suh  
Hyosung Corporation

**Abstract** - 일반적으로 BTB STATCOM은 계통 분리 운전이나 이중 계통의 연계 등의 목적으로 이용한다. 기본 구성으로는 두 대의 STATCOM을 직렬로 연결하여 계통에 삽입되며, 구조 및 개념상 HVDC와 유사한 특징을 갖고 있다. 본 논문에서는 국내에서는 처음으로 독자 개발에 성공한 STATCOM의 기술을 바탕으로 BTB STATCOM의 제어 알고리즘을 설계하고, PSCAD/EMTDC를 이용하여 BTB STATCOM의 모델링 및 계통 연계 모의를 수행하였다. 모델링 및 모의를 통하여 설계 및 개발한 BTB STATCOM의 제어 알고리즘이 정상동작하며, 성공적으로 BTB STATCOM의 역할을 수행할 수 있음을 확인하였다.

#### 1. 서 론

FACTS 기술은 1980년 말 처음으로 개념이 소개되어 현재 여러 선진국을 선두로 오랜 기간 연구되고 상용화되어온 기술이다. 이 중에서도 BTB STATCOM은 두 개의 STATCOM을 결합하여 전력계통에 직렬로 삽입되며, HVDC와 유사한 구조를 갖고 있다. HVDC와 동일하게 유효전력을 전송할 수 있다. 또한 기존의 STATCOM과 유사하게 무효전력 보상이 가능하다. 단, 전력 전송을 위한 송전선로가 존재하지 않으며, DC전압이 낮은 것은 HVDC와의 큰 차이점이다. 이는 송전선로의 부재, 낮은 절연 레벨 등으로 인하여 HVDC보다 낮은 가격으로 개발 및 설치, 시공이 가능함을 의미한다. 이러한 BTB STATCOM은 일반적으로 연계된 양측 전력계통을 전기적으로 분리하거나 서로 주파수가 다른 이중 계통의 연계를 위한 Frequency Converter 등으로 활용될 수 있다. 국내의 경우 이중계통 연계의 필요성은 존재하지 않으나 고장전류의 증가로 인한 계통 분리 운전이나 최근 증가하고 있는 대규모 풍력발전 등의 추진에 따른 계통 연계 설비의 요구로 인해 BTB STATCOM의 활용 가능성이 높아지고 있다[1-5].

저자들은 BTB STATCOM을 개발함과 동시에 기존에 개발된 다중펄스 방식의 STATCOM 기술을 활용하기 위하여 BTB STATCOM의 한쪽 인버터는 기존에 개발된 다중펄스 방식의 STATCOM을 이용하였으며, 유효전력 전송을 가능하게 하기 위하여 다른 하나의 STATCOM은 PWM 방식을 적용하여 새롭게 개발하였다. 본 논문에서는 BTB STATCOM의 실제 제작에 앞서 PSCAD/EMTDC를 사용하여 제어 알고리즘을 설계하고 계통 연계 모의 등을 통해 성능을 검증하였다.

#### 2. BTB STATCOM

##### 2.1 다중펄스 인버터를 이용한 STATCOM

본 논문에서 적용한 다중펄스 인버터를 이용한 STATCOM은 기존에 개발한 10MVA STATCOM으로 다음과 같은 사양을 갖고 있다.

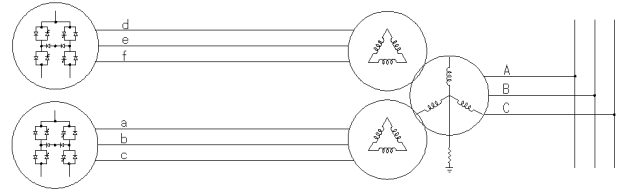
- 용량 : 10MVA
- DC Link 전압 :  $\pm 2,000V$
- 3-Level 인버터
- 주요 구성 : 주변압기, 보조 변압기, 인버터 풀 등

다중펄스 인버터 STATCOM은 각 풀이 모듈 형태로 설계되어 3개의 3-Level 풀들이 1조의 3상 인버터를 구성하고, 총 2조의 3상 인버터가 DC bus에 연결된 형태로 조합되어 구성된다. 인버터 출력 파형은 보조 변압기에서 합성되며, 주변압기를 통해 계통에 연계된다.

##### 2.2 PWM 인버터를 이용한 STATCOM

새롭게 개발한 PWM STATCOM은 BTB STATCOM 구성을 위하여 다중펄스 인버터 STATCOM과 유사한 사양을 갖고 있다. 다음 그림 1에서 보인 바와 같이 PWM 인버터 STATCOM은 각 풀이 모듈 형태로 설계되어 3개의 3-Level 풀들이 1조의 3상 인버터를 구성하고, 총 2조의 3상 인버터가 DC bus에 연결된 형태로 조합되어 구성된다. 이는 앞서

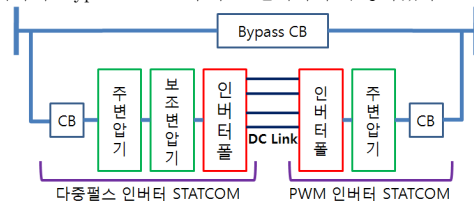
언급한 다중펄스 인버터 STATCOM과 동일한 구성이나 그림 1에서 보인 바와 같이 PWM 인버터 STATCOM은 보조변압기가 없이 3권선 주변압기를 통해 계통에 연계된다.



〈그림 1〉 PWM 인버터 STATCOM의 전력회로

#### 2.3 BTB STATCOM

본 논문에서는 앞서 언급한 두 STATCOM의 DC Link를 결합하여 BTB STATCOM을 개발하였다. 다음 그림 2는 실제 개발한 BTB STATCOM의 개념도이다. 그림 3에서 보인 바와 같이 두 STATCOM은 DC Link 공유를 통해 BTB STATCOM을 구성하고 있다. 본 연구 개발에서는 BTB STATCOM의 오동작에 따른 전력 품질의 저하를 방지하기 위하여 Bypass CB를 추가로 설치하여 구성하였다.



〈그림 2〉 BTB STATCOM의 개념도

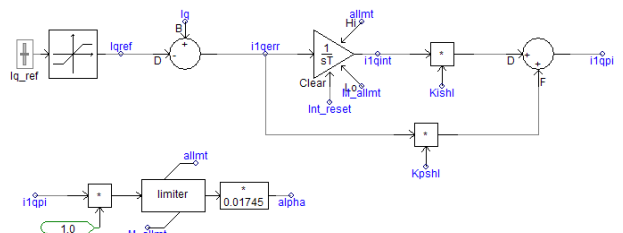
#### 3. 제어 알고리즘

##### 3.1 BTB 모드 제어 알고리즘의 PSCAD/EMTDC 모델

BTB 모드의 제어 알고리즘은 다중펄스 인버터 STATCOM의 제어 알고리즘과 PWM 인버터 STATCOM의 제어 알고리즘으로 구분할 수 있으며, 각각은 다음의 역할을 수행하도록 설계되었다.

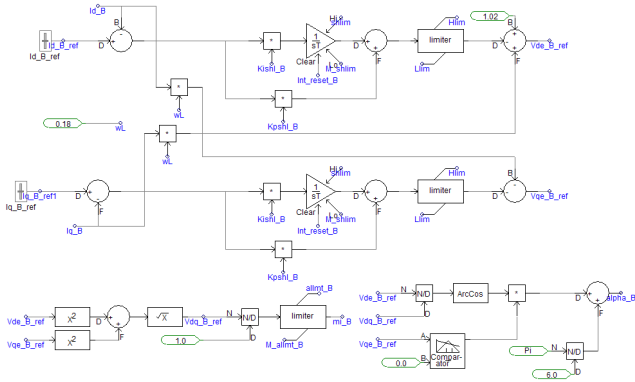
- 다중펄스 인버터 STATCOM : 무효전력 제어
- PWM 인버터 STATCOM : 유효전력 제어, 무효전력 제어

다음 그림 3은 다중펄스 인버터 STATCOM의 무효전력 제어 알고리즘의 PSCAD/EMTDC 모델이다. 무효전력 제어를 위한 제어 지령치와 현재의 무효전류의 크기를 입력으로 받아 인버터 제어를 위한 alpha 각을 계산한다.



〈그림 3〉 다중펄스 인버터 STATCOM의 제어 알고리즘

PWM 인버터 STATCOM의 유효전력 제어 및 무효전력 제어 알고리즘의 PSCAD/EMTDC 모델은 다음 그림 4와 같다. PWM 인버터는 두 개의 제어 변수를 갖는데 하나는 MI(Modulation Index)이며, 다른 하나는 앞에서와 같은 alpha 각이다.



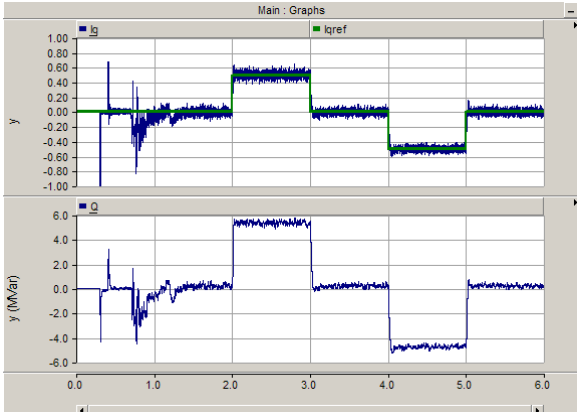
〈그림 4〉 PWM 인버터 STATCOM의 제어 알고리즘

### 3.2 제어 모의 결과

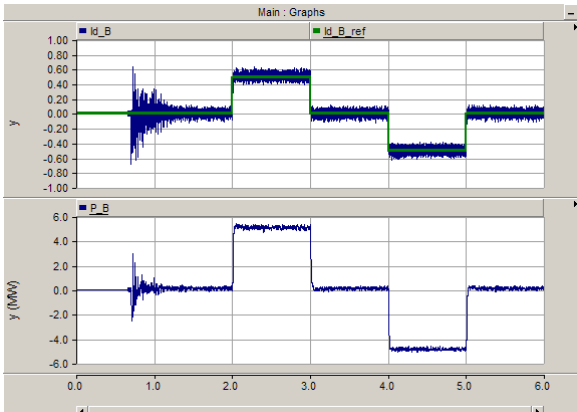
설계, 구현한 제어 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 BTB 모드에서 유효전력(P) 전송과 무효전력(Q) 제어 모의를 수행하였다. 모의 조건은 다음과 같다.

- (1) 다중펄스 인버터 STATCOM측 무효전력 제어
  - Q 제어 : 0MVar → 5MVar → 0MVar → -5MVar → 0MVar
- (2) PWM 인버터 STATCOM측 무효전력 제어
  - P 제어 : 0MW → 5MW → 0MW → -5MW → 0MW
  - Q 제어 : 0MVar → 5MVar → 0MVar → -5MVar → 0MVar

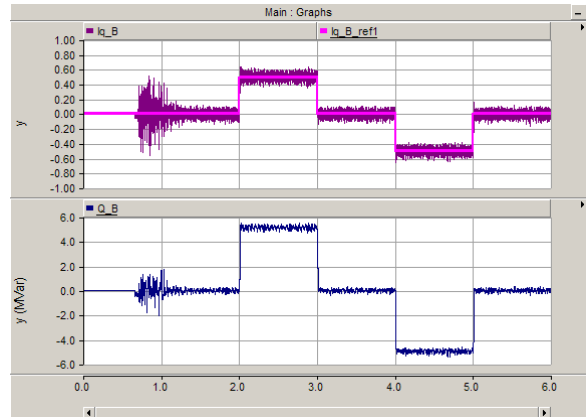
다음 그림 5는 BTB 모드에서 다중펄스 인버터 STATCOM측 제어를 통해 무효전력을 제어할 때의 제어 지령치와 전류 변화 및 해당 모선에서의 무효전력 측정치이다. 다음 그림 6, 7은 각각 PWM 인버터 STATCOM측 제어를 통해 유효전력과 무효전력을 제어한 결과이다.



〈그림 5〉 다중펄스 인버터 STATCOM측 제어 동작 모의 결과



〈그림 6〉 PWM 인버터 STATCOM측 P 제어 동작 모의 결과

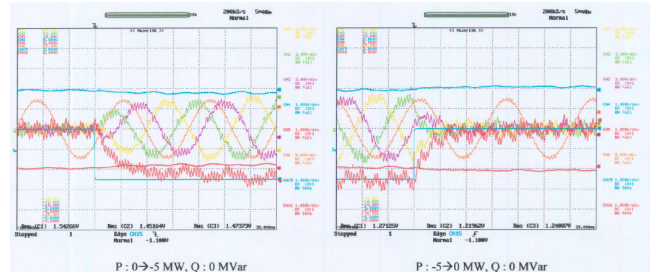


〈그림 7〉 PWM 인버터 STATCOM측 Q 제어 동작 모의 결과

그림 5~7에서 보인 바와 같이 주어진 제어 지령치에 대하여 각 제어 알고리즘은 정상적으로 동작하고 있음을 확인할 수 있다.

### 3.4 BTB STATCOM의 운전 시험 결과

다음 그림 8은 실제 제작된 BTB STATCOM에서 유효전력을 0MW → 5MW와 -5MW → 0MW로 제어하였을 때의 시험 파형의 일부이다.



〈그림 8〉 실제 제작된 BTB STATCOM의 P제어 시험 파형

그림 8로부터 앞서 설계 및 모의된 제어 알고리즘이 실제 설비에서도 정상동작하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 제어 응답 시간도 약 1주기 내로 좋은 제어 특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 다중펄스 인버터 STATCOM과 PWM 인버터 STATCOM의 DC Link를 결합하여 BTB STATCOM을 개발하고, 실제 제어에 필요한 제어 알고리즘을 설계하였다. 설계 및 모의를 위하여 PSCAD/EMTDC를 사용하였으며, 여러 형태의 모의 결과를 통하여 제어 알고리즘 및 각종 제어 파라미터 값들이 올바르게 지정되었음을 확인하였다. 또한 모의 결과를 통하여 BTB STATCOM이 정상적인 운전 범위에서 좋은 제어 특성을 보임을 확인하였으며, 이 제어 알고리즘을 적용하여 개발, 제작된 실제 BTB STATCOM의 실제 시험을 통하여 제어 알고리즘의 성능을 확인하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] N. G. Hingorani, L. Gyugyi, Understanding FACTS, IEEE PRESS, 2000.
- [2] 김찬기, 장길수, 임성주, 추진부, HVDC와 전력전자, 생능출판사, 2006.
- [3] K. Oguchi, Y. Maki, Y. Sunaga, "Three-Phase Multilevel Voltage Source Converters with Low Switching Frequencies and Less-Distorted Input Voltages", Industry Applications Society Annual Meeting, Conference Record of the 1993 IEEE, Vol. 2, pp. 878, 2-8 Oct., 1993.
- [4] C. Schauder, et. al., "Development of a ±100Mvar static condenser for voltage control of transmission systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, pp. 1486-1493, July, 1995.
- [5] 정종규, 이지현, 오승진, 차민영, 김종원, 한병운, "다중펄스 방식과 PWM 방식으로 동작하는 Back-to-Back 컨버터의 제어와 고조파 특성 분석", 2010년도 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템분회 추계학술대회, pp. 386-388, 21-23 Oct., 2010.