

10kW급 계통연계형 3상 백투백 컨버터 제작 및 실험

이일용, 채승우, 차한주
충남대학교 전기공학과

Implementation of 10kW Grid-connected Three-phase Back-to-Back Converter

Ilyong Lee, Seungwoo Chae, Hanju Cha
Chungnam National University

ABSTRACT

본 논문에서는 10kW급 3상 백투백 컨버터에 필요한 여러 가지 제어 기술들을 살펴보고 시뮬레이션을 통해 제어 알고리즘의 타당성을 분석하며, 실제 하드웨어의 구성 및 계통연계 실험을 통해 입, 출력 전압, 전류 등 파형을 관찰하여 3상 백투백 컨버터의 타당성과 적정성을 알아본다.

1. 서론

최근 풍력발전과 플라이휠을 이용한 무 정전 전원공급 장치(UPS)등의 발전, 전동기 제어 및 구동 시스템 등 가변주파수 특성을 가지는 회전기의 사용이 급증하여 계통의 품질을 유지시키고 안정된 전력공급을 위한 정 주파수, 정전압 출력이 가능한 백투백 컨버터의 필요성이 증대되고 있다.^[1]

본 논문에서 제작, 실험한 계통연계 3상 백투백 컨버터는 DC LINK를 사이에 두고 양 방향에 인버터가 결합되어있는 구조로 4상한 전력제어가 가능한 컨버터를 의미한다. 컨버터가 계통에 연계되기 위해서 3상 전류를 풀 브리지 능동 정류기를 통해 DC LINK에 전압을 충전하고, 충전 전압을 풀 브리지 인버터를 통해 출력 전압을 합성하며, 이때 계통의 전압 위상을 추종하는 위상 추종 제어(PLL)를 수행하여 얻어진 위상정보를 활용해 전압을 합성하며 전류제어기를 이용해 유효전력, 무효전력의 순시전력제어를 하게 된다. 따라서 안정된 전력공급을 위한 10kW급 백투백 컨버터를 개발하고, 알맞은 제어기를 설계하여 동작을 시뮬레이션을 통해 검증하고 실제 실험을 통해 확인하도록 한다.

2. 3상 백투백 컨버터

2.1 3상 백투백 컨버터 구조

본 논문에서 구성한 백투백 컨버터는 2대의 인버터가 각각 DC LINK를 사이에 두고 2대의 인버터가 맞닿아 있는 모양으로 양 방향 전력공급이 가능하며 각각 무효전력 제어가 가능하여 4상한 전력제어가 가능하다. 통상 2개의 인버터 중 전동기 혹은 부하 측을 MSC(Machine Side Converter), 계통 측을 GSC(Grid Side Converter)로 부르며 전체적인 토폴로지는 그림 1 과 같다. 본 논문에서는 MSC와 GSC 모두 계통에 연결하여 계통에 대해 4상한 전력제어가 가능하도록 하였다.

2.2 3상 백투백 컨버터 제어

3상 백투백 컨버터의 올바른 제어를 위해서는 전력의 입, 출력을 알고 계통의 위상을 추종해야 한다. 본 논문에 사용된 3상 백투백 컨버터에는 DPLL 위상추종제어와 DC LINK 전압 제어, 인버터 전류제어기 등이 사용되었다.

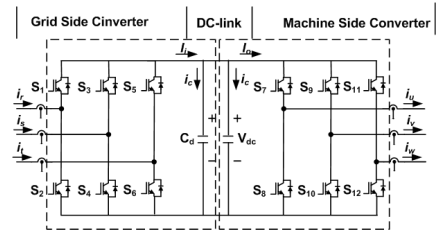


그림 1 3상 백투백 컨버터 구조

Fig. 1 Topology of Back-to-Back Converter

2.2.1 DPLL 위상추종제어

계통연계 시스템에서는 계통의 위상과 주파수를 추종하는 것이 매우 중요하다. 계통의 전압을 읽어 위상 및 주파수 정보를 취득하여 인버터로 출력되는 전압의 위상이 계통전압을 적절히 추종할 수 있도록 DPLL 위상추종제어를 수행한다. 3상으로 입력되는 전압을 d q변환 기법을 통하여 정직좌표변환, 회전좌표변환을 거쳐 계통전압의 크기와 위상정보를 나타내는 V_{ds} , V_{qs} 를 추출하여 위상차를 보상하고 PI제어기를 통해 추종위상과의 차를 적분기를 통해 더해주어 위상 $\hat{\theta}$ 를 추종하게 된다.^[2]

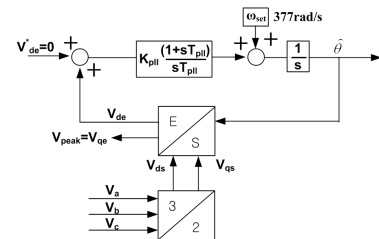


그림 2 DPLL 위상추종제어

Fig. 2 DPLL control

2.2.2 DC-LINK 전압제어

그림 3은 DC LINK PI전압제어기의 블록다이어그램이다. MSC에서 얻어진 전류를 능동 정류기로 동작하여 DC링크에 전압으로 충전되어진다. 따라서 인버터는 DC링크에 일정한 전압을 유지하고 커패시터에서 인버터 측으로 전달되는 전류량을 제어 하여 계통 측으로 전력을 전달하게 된다.

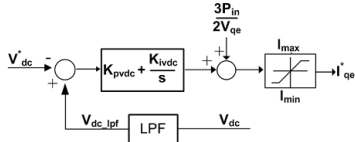


그림 3 DC-LINK 전압제어기
Fig. 3 DC-LINK voltage controller

2.2.3 출력 전류제어

동기좌표변환을 거치면서 간섭분 ωL_{id} 와 ωL_{iq} 가 존재함으로써 이러한 영향을 없애기 위하여 간섭 분을 미리 보상하는 비 간섭 전류제어기가 필요하게 된다. 인버터의 전류제어기는 그림 4 와 같다. 그림에서와 같이 전향보상기법을 사용하였고 d q변환을 통해 전류와 전압을 제어 한다. 동작을 살펴보면 DPLL을 통해 위상과 피크전압을 구하고 전류를 정지좌표변환, 회전좌표변환을 통해 I_{de} 와 I_{qe} 를 얻고 비 간섭전류제어를 통해 전향보상 방식으로 보상을 하게 된다. 최대역률로 발전하기 위해 I_{dref} 는 0으로 PI제어를 하며, I_{qref} 는 MSC측으로부터 DC링크에 충전되어지는 전력량에 따라 전류량이 결정되고 PI제어를 통하여 최종적으로 결정된 출력량은 게이트회로를 통해 인버터 스위치에 PWM신호를 전달하게 된다.

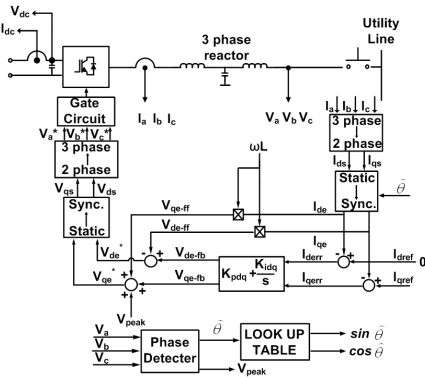


그림 4 전류 제어기
Fig. 4 Current controller

2.3 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 모델을 구성해 부하 급변시의 모습을 관찰하였다. GSC측에서 요구되는 전력이 순간 증가한 경우 DC LINK에서 전력이 순간적으로 빠져나가 전압이 하강하지만, 점차 DC LINK전압이 원래의 전압으로 돌아오며 입력전류가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 출력전류는 부하의 요구에 맞춰 즉시 증가하여 올바른 제어기 설계를 확인할 수 있다.

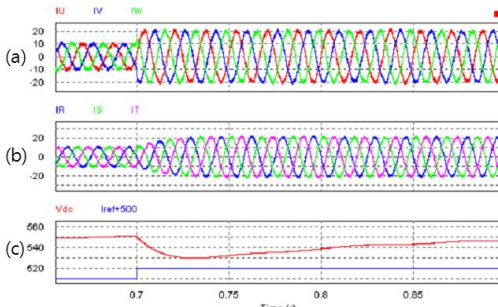


그림 5 시뮬레이션 결과 (a)GSC 출력전류, (b)MSC 입력전류
(c) DC-LINK 전압과 전류출력 기준 값.
Fig. 5 Simulation results (a)GSC current, (b)MSC current, (c)DC-LINK voltage and output current reference

2.4 하드웨어구성 및 실험

시뮬레이션을 바탕으로 하드웨어를 구성하였으며 본 논문에서는 세미크론사의 Solar inverter stack 2대를 연결하여 3상 백투백 컨버터를 구성하였다, 제어기로는 DSP 28335 제어보드를 활용하여 제작하였다, 전체적인 하드웨어의 구성은 그림6에 나타내었고, 컨버터의 구동 파형을 그림 7에 나타내었다.

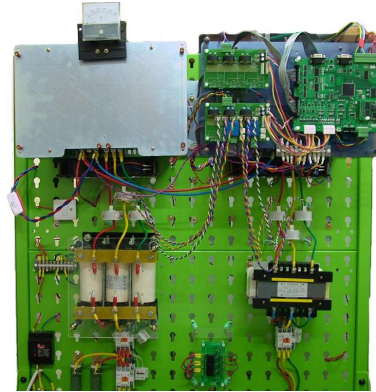


그림 6 제작된 3상 백투백 컨버터 하드웨어
Fig. 6 Prototype of 10kW 3-phase back-to-back converter

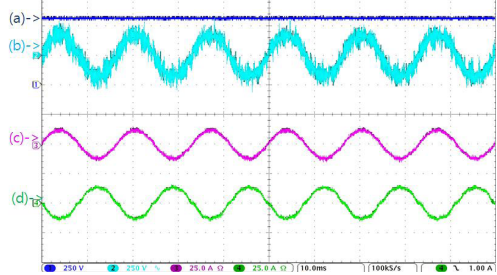


그림 7 출력 파형 (220Vrms 15Apeak(10.6Arms))
(a)DC-LINK 전압, (b)출력 전압, (c) 출력 전류, (d)입력 전류
Fig. 7 Output waveform(220Vrms 15Apeak(10.6Arms))
(a)DC-LINK voltage, (b)output voltage, (c)output current (d)input current

3. 결론

본 논문에서는 10kW급 3상 백투백 컨버터를 시뮬레이션을 통해 검증하였고, 이를 바탕으로 하드웨어를 설계, 제작하여 각종 제어기를 점검하였다. 또한 제작된 하드웨어를 실제 계통에 연계실험을 하여 성능을 검증하였다. 검증결과 시뮬레이션과 실제 하드웨어가 동일한 동작을 하는 것을 확인하였고 정전압 정 전류 전력공급기로서의 사용의 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] Ritwik Majumder, "Power Management and Power Flow Control With Back To Back Converters in a Utility Connected Microgrid", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 25 NO. 2, MAY 2010
- [2] V. Blasko, V. Kaura, "Operation of a Phase Locked LoopSystem Under Distorted Utility Conditions", IEEE Transactions On Industrial Electronics, vol.33, no.1,p.58 63, January/February 1997 1 14, 1978.