

전력순환제어기술을 가진 변압기 없는 단상 전력변환기에 대한 연구

백승준*, 이우철

한경대학교 전기전자제어공학과

A Study on the Transformerless Type Single-phase Power converter having a Power Circulating Control Technique

Seung Jun Baik*, Woo Cheol Lee

Hankyong National University Dept. of Electrical, Electronic and Control Engineering

ABSTRACT

UPS 부하시험의 에너지와 비용 저감을 위해 단상 풀브릿지 토폴로지에 기반한 전력시스템을 제안하고, 이 시스템을 위해 병렬로 구성된 단상 PWM컨버터들 사이에 반드시 존재해야 하는 Blocking 제어기법과 그 모델링에 대해 연구하였다. 주요 목적은 병렬로 연결된 두 컨버터사이에 발생하는 순환전류영향과 그 영향으로 인해 반드시 필요하게 된 컨버터들 스위치의 Blocking 제어기법에 관해 연구하였다.

1. 서 론

일반적으로 UPS 부하시험에서 저전력 응용분야에서는 하프 브릿지 컨버터 시스템을 사용하고, 대전력 응용분야에서는 풀 브릿지 컨버터 시스템을 사용하는데 하프 브릿지 컨버터 시스템을 사용하는 경우에는 입출력간 공통 중성점이 존재하여 자체 단락구간이 존재하지 않는 반면 풀 브릿지 컨버터 시스템을 구현하게 되면 커패시터의 단독단락구간이 발생하게 된다. 따라서 이와같은 문제점을 해결하기 위해서는 변압기가 반드시 필요하게 된다.^[1]

따라서 본 연구에서는 변압기가 없을 때 발생하는 문제점에 대해서 구체적으로 알아보고 해결방안을 제시하여 시뮬레이션과 실험과형으로 검증하고자 한다.

2. 시스템 구성

2.1 제안된 시스템회로의 구성

그림 1은 제안하는 시스템을 간략화 시킨 회로도도를 나타낸다. 앞으로 편의상 첫 번째 컨버터는 컨버터 1, 두 번째 컨버터는 컨버터 2 라고 기재했다. V_g 는 전원 전압, L_1 은 컨버터 1을 구성하기 위한 인덕터이며, L_2 와 C_2 는 컨버터 2 출력을 위한 LC필터로 구성되어 있고, i_g 는 전원전류, i_{L1} 은 인덕터 L_1 전류, i_{L2} 는 인덕터 L_2 전류, i_{dc} 는 DC Link 커패시터에 흐르는 전류, i_{dc1} 은 DC Link 커패시터로 들어가는 전류이고 i_{dc2} 는 DC Link 커패시터에서 나오는 전류를 나타낸다. 마지막으로 i_{C2} 는 컨버터 2의 필터커패시터에 흐르는 전류를 나타낸다. 동작 구성은 컨버터 1은 V_g 를 이용하여 DC Link전압을 승압하고 승압된 Cdc전압을 이용해 PWM 컨버터로 구동하여 AC 전압을 출력한다 이때 컨버터 2가 인덕터 L_2 에 흐르는 전류 I_{L2} 를 전류 제어 하여 컨버터 2 출력전압의 위상을 앞서게 한다. 그렇게 되면 앞선 위상을 가진 컨버터 2 출력전압으로부터 상대적으로 위상이 뒤진 전원전압쪽으로 순환전류가 흐르게 된다. C_2 는 컨버터 2 출력전압을 정현파로 만들기 위한 필터이다.

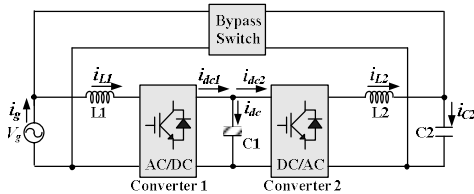


그림 1 제안된 시스템
Fig. 1. The Proposed system

2.2 전압-전압제어기

전력순환제어의 방법에는 전압 전류제어, 전압 전압 제어 총 2가지의 제어기법이 존재한다. 본 논문에서는 전압 전압제어를 바탕으로 구성하였다.

전압 전압 제어방식은 컨버터 1과 컨버터 2 모두 DC전압을 제어하는 형태이다. 그림 4를 보면 DC링크 전압 지령치 $V_{dc.ref1}$, $V_{dc.ref2}$ 총 2개가 존재한다. 각각의 지령전압에 따라 PI제어기 의해 i_{L1} 전류와 i_{L2} 전류가 출력된다. 이는 다시 DC 링크전압으로 환산되어 각각의 전압지령치로 feedback되어 다시 PI제어가 된다.

여기서 $i_g - i_{L1} + i_{L2} = i_{C2}$ 는 각각의 컨버터 출력전류 i_{L1} 과 i_{L2} 가 같게 되면 결국 입력전류 i_g 는 필터에 흐르는 전류 i_{C2} 와 같게 된다. i_{C2} 는 각각의 컨버터 출력전압으로 환산되어 $V_{1.ref}$ 와 $V_{2.ref}$ 에 feedback되어 다시 PI제어가 된다. 여기서 V_m 은 V_g 의 첨두치 값을 나타낸다.

2.3 DC Link를 통한 단락회로

제안된 시스템으로 회로구성시 그림 3과 같이 문제가 되는 단락구간이 존재한다. 컨버터 스위칭 상태에 따라 커패시터만의 단락으로 DC Link 전압이 급격히 0V로 떨어지는 현상이 발생된다. 이렇게 되면 제어기가 정상동작을 하지 못하여 과도한 전류가 발생되어 장비가 Shutdown하게 된다. 따라서 전력순환제어기능을 못하게 된다.

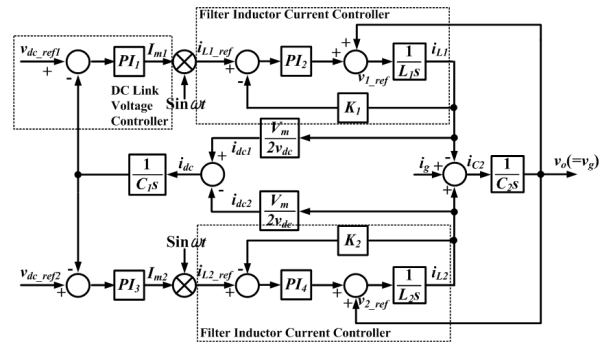


그림 2 전압 - 전압 제어기의 구성

Fig. 2. The Composition of Voltage - Voltage controller

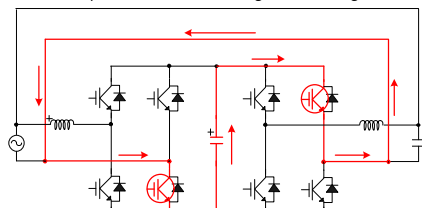


그림 3 풀 브릿지 컨버터로 구성시의 커패시터의 단락구간
Fig. 3. the capacitor shortpath composed with Full Bridge Converter

2.4 제안하는 Transformerless type

단락구간대책으로 변압기를 설치하는 방법이 존재하지만 이는 가격적인 측면이나 부피 무게면에서 여러 가지 단점이 존재한다 따라서 변압기 구성을 피하려면 제안된 토폴로지에서 스위치제어만으로 시스템을 구성할 필요가 있다. 아래 그림 4를 보면 컨버터의 스위칭상태를 하나하나 고려해 보기 위해 단락구간을 거치는 스위치에 각각 A, B, C, D로 설정하였다.

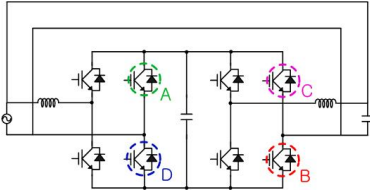


그림 4 단락구간에 포함된 IGBT
Fig. 4. the IGBT included in shorpath

그림5는 DC Link전압 커패시터가 단락되는 각각의 Case마다 스위칭제어를 통해 단락구간을 피한 후의 PWM파형을 볼 수 있다.

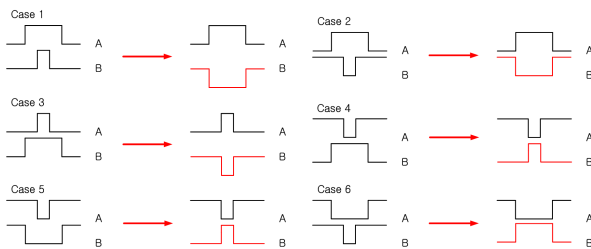


그림 5 Blocking Control을 적용하기 전과 후의 PWM파형
Fig. 5. A PWM waveform Before and after enabled Blocking Control

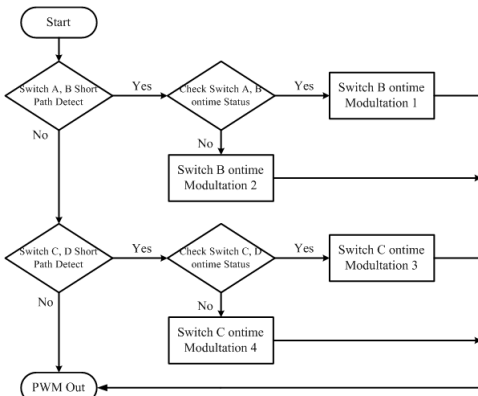


그림 6 Blocking Control의 flowchart
Fig. 6. A flowchart of Blocking Control

그림 6은 제안하는 시스템에서 Blocking Control을 나타내는 블록 다이어그램이다. 시작은 PWM을 내보내기 전에 스위치 A, B 단락구간을 체크한 후 단락구간이 검출 되면 Blocking Control를 거친 후 게이트파형을 변환시켜서 출력하고 이상이 없으면 스위치 C, D 단락구간을 체크한 후 단락구간이 검출 되면 Blocking Control를 거친 후 게이트파형을 변환시켜서 출력한다. 스위치 온 시간변조 방법이 각각 2개가 존재하는데 스위치 A와 B의 상태에 따라 스위치 B의 온 시간을 늘리는 변조방법1이나 스위치 B의 온 시간을 줄이는 변조방법2을 통해 스위치 B 온 시간이 변조된다. 스위치 C, D도 마찬가지로 위치 C와 D의 상태에 따라 스위치 C의 온 시간을 늘리는 변조방법3이나 스위치 C의 온 시간을 줄이는 변조방법4을 통해 스위치 C 온 시간이 변조된다. PWM변조하는 파형이 스위치 B와 C의 온 시간만으로 변환시키는 이유는 스위치 A와 D의 온 시간을 변조할 시 컨버터의 DC전압승압이 되지 않기 때문이다.

3. 시뮬레이션

아래 그림 7을 보면 파형표기는 위 그림1에 있는 스위칭 표기방식을 그대로 적용하였고 Blocking Control을 적용하기 전의 파형이 나와있다. 파형 A, B는 그림 5의 Case 2의 Blocking Control 적용 전처럼 스위치가 동시에 ON되는 구간이 존재한다. 하지만 Blocking Control이 적용후 파형을 보면 그림 5의 Case 2처럼 동시에 ON되는 구간이 없어졌음을 볼 수 있다. 파형 C, D는 동시에 ON구간이 없어 Blocking Control을 거치지 않고 그대로 파형이 나오게 된다.

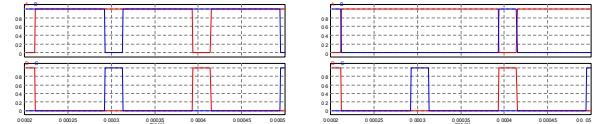


그림 7 Blocking Control 적용 전, 후 파형
Fig. 7. A waveform before and after enabled Blocking Control

4. 실험파형

실험파형에서는 Blocking Control을 적용하기 전과 후 모습의 파형과, 시스템으로는 두 대의 컨버터를 병렬로 구성하고 두 대 컨버터 모두 DC Link전압제어하는 전압 전압제어 방식을 사용하는 실험파형으로 구성하였다.

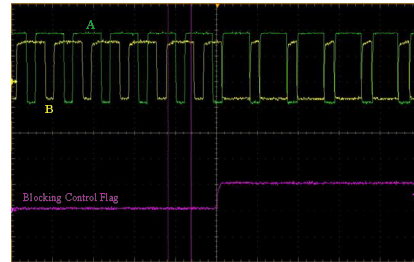


그림 8 Blocking Control을 적용하기 전과 후의 실험파형

Fig. 8. A waveform Before and after enabled Blocking Control
위 그림 8은 그림 4의 IGBT스위치 A와 B의 게이트 파형이다. Blocking Control Flag는 Low일 때 Control을 적용하지 않을 때이고, High일 때 Control을 적용한 모습이다. 파형을 보면 Control을 적용하지 않을 때 A와 B 모두 High인 구간이 존재하는 반면 적용한 후에는 동시에 High인 구간이 사라졌음을 볼 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 여러 UPS 방식 중에서 가장 우수한 성능을 갖는 이중변환방식을 채택하여 이에 필요한 단상 PWM 컨버터 2대를 병렬로 하는 시스템을 설계하였고 기존 부하시험과 비교하여 제안된 시스템의 필요성을 인식하였다. 또한 제안된 시스템을 사용하게 될 경우 기존의 변압기를 사용해야 했던 방식을 배제하고 변압기 없는 방식을 사용하였으며, Simulation과 실제실험으로 제안된 시스템이 정상적으로 동작되는지 증명하였다.

이 논문은 중소기업체의 산학연 공동기술 개발지원사업 결과물임

참고 문헌

[1] Bekiarov, S.B., Nasiri, A., Emadi, A., "A New Reduced Parts On Line Single Phase UPS System", *Industrial Electronics Society, IECON '03. The 29th Annual Conference of the IEEE*, vol. 1, pp. 688 693, 2003.