

3상 2-병렬 PWM 컨버터의 고장허용 제어 및 순환전류 저감에 관한 연구

박진우, 정준형, 김장목
 부산대학교 전기공학과

Study of Fault Tolerant and Circulating Current Control Method for Three-Phase 2-Parallel PWM Converter Systems

Park Jin-Woo, Jung Jun-Hyung, Kim Jang-Mok
 Department of Electrical Engineering., Pusan National University

ABSTRACT

본 논문에서는 3상 2-병렬 PWM 컨버터의 단일 스위치 개방 고장 시 고장 허용 제어 방법과 그에 따라 발생하는 순환 전류를 저감하는 연구를 진행 하였다. PWM 컨버터의 스위치 개방 고장은 DC단 전압 맥동과 계통 측 전류의 왜곡을 유발하며 이는 고장허용제어를 통해 개선 가능하다. 하지만 고장허용제어를 병렬형 PWM 컨버터에 적용하는 경우에는 컨버터의 비동기적인 스위칭으로 발생된 순환 전류 때문에 기존의 방법을 적용 할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 2-병렬 PWM 컨버터의 스위치 개방 고장 허용제어에 따른 순환전류 저감에 대한 연구를 진행하였다. 연구한 내용은 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

1. 서론

대전력 컨버터의 경우, 한 대의 컨버터를 이용하여 전 부하에 대해 전원을 공급하게 되면 열 손실 발생 및 온도 상승으로 인한 시스템의 수명 감소, 높은 정격의 소자 사용 필요, 용량 증대의 제한, 시스템 운영의 비효율성 등의 문제가 발생한다. 위의 문제점을 해결하기 위해 컨버터를 병렬로 운전하여 제한된 전력 처리 능력을 보완하고 이를 고전력 어플리케이션에 적용하고 있다. 또한 병렬형 PWM 컨버터는 인터리빙 기법을 통해 출력 측 전압의 변동 폭을 줄일 수 있고 컨버터 입력 측의 전류파형을 정현파에 가깝게 하여 고조파를 감소시킬 수 있다.

2. 2-병렬 컨버터의 단일 스위치 개방 고장

1.1 컨버터 고장허용제어

그림 1은 3상 2-병렬 PWM 컨버터 시스템이다. 컨버터가 DC단 전압 제어를 수행 중 일 때, 한 개 스위치 개방 고장이 발생 하면, DC단 전압 맥동 및 계통 측 전류의 고조파 왜곡을 유발 한다. 이를 보상하는 방안으로 단일 컨버터에서 사용되는 고장허용제어에 관한 방법이 선행 연구가 되었다.^[1] SVPWM을 사용 시 고장허용제어로 고장에 의해 필요한 유효 전압 벡터를 생성하지 못하는 영역에 대해 그와 가장 인접한 유효 전압 벡터를 사용하여 개방 고장인 스위치에 대한 보상을 한다. 하지만 병렬형 컨버터에서 동일한 방법을 적용하면 컨버터

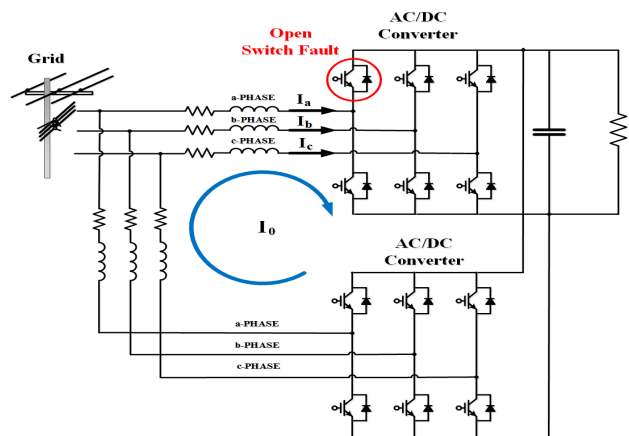


그림 1 2-병렬 PWM 컨버터 a상 상단 개방 스위치 고장

내부에 순환전류가 발생하게 된다.

1.2 순환 전류

순환전류는 병렬로 연결된 컨버터가 스위칭으로 인하여 전원 측을 포함한 폐루프를 형성 하였을 때 발생하게 된다. 그림 1에서 표현한 바와 같이 순환 전류 I_0 의 발생경로와 그에 대한 표현은 수식(1)과 같다

$$I_0 = I_a + I_b + I_c \tag{1}$$

I_a, I_b, I_c 는 상단 컨버터 입력 측으로 흐르는 3상의 전류를 의미한다. 그림 1에서 순환 전류가 흐르지 않는다면 수식 (1)의 값은 0 이 되지만 순환 전류가 발생을 하게 되면 수식 (1)은 0 이 아닌 값을 가지게 된다. 이러한 병렬형 컨버터에서 발생하는 순환 전류에 대한 자세한 수치적인 해석은 기존 연구들을 통해 다양하게 표현 되고 있다.^[2]

2.1 순환 전류 보상

그림 2는 병렬형 컨버터 시스템에 사용되는 순환 전류 보상에 대한 일반적인 제어 블록다이어그램이다. 순환전류를 제어 하기 위해 P제어기를 사용하고 제어기로부터 출력된 값은 Min-Max 변조 방식에 추가적인 오프셋 전압으로 주입 된다.

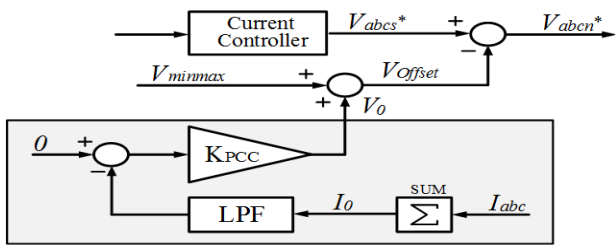


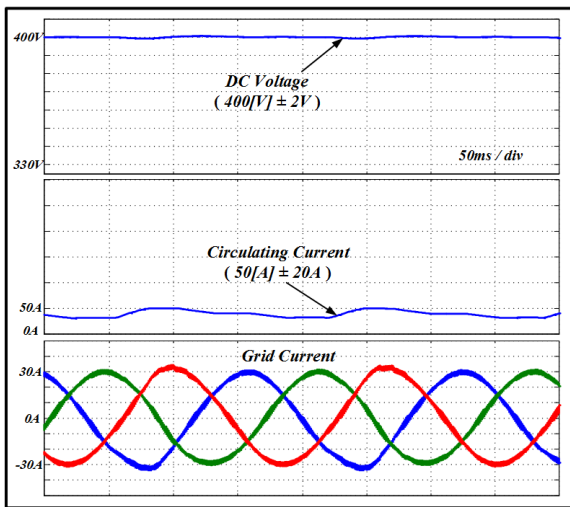
그림 2 순환 전류 보상 알고리즘 블록도

3. 시뮬레이션

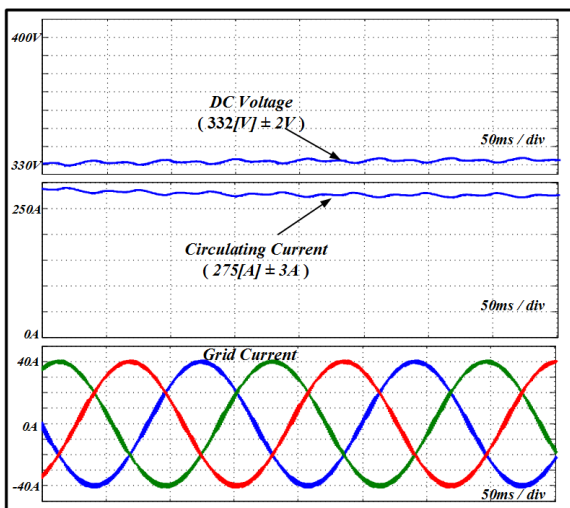
본 논문에서는 2-병렬 컨버터의 한 개 스위치 개방 고장 시 고장허용제어 적용과 그에 따라 발생하는 순환 전류의 보상에 대한 결과를 시뮬레이션을 통해 확인 하였다.

표 1 시뮬레이션 파라미터

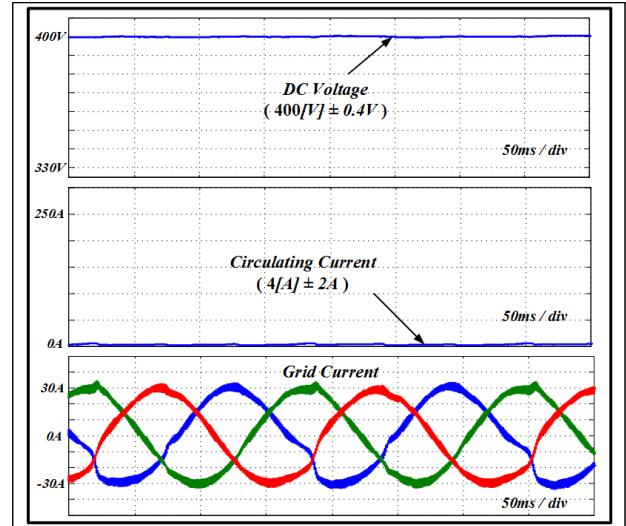
입력 전원	3상 220V	DC단 지령전압	400V
입력 측 필터	5mH	DC단 커패시터	3300uF
스위칭 주파수	10kHz	부하저항	20 ohm



(a)



(b)



(c)

그림 3. 상단 컨버터 a상 상단 스위치 개방 고장 시 (a) 고장 상태 (b) 고장허용제어 적용 (c) 고장허용제어 및 순환 전류 보상 적용했을 때 DC단 전압, 순환 전류, 계통 전류

그림 3은 (a) 스위치 개방 고장 상태, (b) 고장허용제어, (c) 고장허용제어 및 순환 전류 보상에 대한 DC단 전압, 순환 전류, 계통 전류의 시뮬레이션 결과이다. 그림 3.(a)에서 한 개의 스위치 개방 고장이 일어나면 DC단 전압 맥동 및 순환 전류가 발생한다. 그림 3.(b)는 고장허용제어 적용에 따라 순환 전류가 증가하여 계통 측 전류의 크기가 커지고, DC단 전압 지령을 추종하지 못하는 현상이 나타난다. 그림 3.(c)에서 고장허용제어 및 그림 2의 순환 전류 보상알고리즘을 적용하면 순환 전류가 개선되어 DC단 전압이 지령 값을 다시 추종하게 된다. 또한 그림 (a)의 고장 상황과 비교하였을 때 DC단 전압 맥동도 줄어드는 것을 확인 하였다.

4. 결론

본 논문에서는 2-병렬 PWM 컨버터의 한 개 스위치 개방 고장 상황에서 고장허용제어를 적용하기 방안에 대해 연구하였다. 기존의 단일 컨버터에서 사용한 고장허용제어 방법이 병렬형 컨버터에서는 순환 전류 생성을 유발하여 순환 전류에 보상이 필요 하였다. 사용한 방법들을 통해 DC단 전압 맥동과 순환 전류가 개선되는 것을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

참고 문헌

[1] Won-Sang Im, Jang-Mok Kim, Dong-Choon Lee, Kyo-Beum Lee, "Diagnosis and Fault-Tolerant Control of Three-Phase AC-DC PWM Converter Systems", Industry Applications, 2013 IEEE, Vol 49, No.4, pp.1539-1547

[2] Ching-Tasi Pan, Yi-Huang Liao, "Modeling and Coordinate Control of Circulating Currents in Parallel Three-Phase Boost Rectifier", Industrial Electronics, 2007 IEEE, Vol. 54, No.2, pp.825-838