

병렬 삼상 부스트 컨버터에서 2개의 DC-link 전류 센서를 이용한 전류 재구성 방법

김민섭, 임창순, 현동석
한양대학교

Current Reconstruction method Using Two DC-Link Current Sensors in Parallel Three-Phase Boost Converter

Min Sub Kim, Chang Soon Lim, Dong Seok Hyun
Department of Electrical Engineering, Hanyang University

ABSTRACT

본 논문은 병렬 삼상 부스트 컨버터에서 2개의 DC link 전류 센서를 이용한 새로운 방법을 제안 하였다. 단 2개의 전류 센서만 이용하였고, 순환 전류 문제를 해결하면서 전류를 재구성을 하였다. 이러한 병렬 삼상 부스트 컨버터는 저가 및 중, 대형 전력 시스템에 많이 사용될 것이다. 제안한 방법을 적용하고 그 타당성을 시뮬레이션으로 검증 하였다.

1. 서 론

병렬 삼상 부스트 컨버터(PTBC : Parallel Three Phase Boost Converters)는 고전력, 고효율성, 작은 전류ripple 등의 많은 장점을 가지고 있어, UPS(Uninterruptible Power Supplies), Motor Drives, PFC(Power Factor Correction)등 여러 응용분야에서의 사용량이 증가되고 있다.

그러나 병렬 삼상 컨버터 시스템에서의 가장 큰 문제점은 공통의 직류 버스와 공통 전원, 공통 부하 단을 가지고 있기 때문에 순환 전류가 생긴다는 점이다. 순환 전류에 대한 간단한 해결 방법은 영상태(zero sequence) 전류를 차단하는 것이다. 또한 교류 측에 분리된 전원 또는 변압기를 통해서 영상태 전류를 차단하는 것이 가능하나 시스템이 커지고 가격이 올라간다는 단점이 있다.

최근 들어 추가적인 하드웨어 없이 영상태 전류 컨트롤 하는 방법들이 많이 제안되고 있다. 논문 [1]은 비연속적인 비선형 제어를 사용하여 d q 축 전류를 안정화 하였고, 순수한 영상태 전류의 흐름을 제한 하였다. 그러나 영상태 전류는 순환전류 때문에 삼상에서 전류 불평형이 일어난다. 그 결과 각 상의 전류를 측정하기 위해서 더 많은 전류 센서가 사용되었다.

전류 센서를 줄이면서 전류 재구성하는 논문들이 발표되었다[2]. DC link 전류와 2개의 유효 전압 벡터의 스위칭 상태를 이용하여 삼상 부스트 컨버터의 입력 전류를 재구성 하는 방법이 제안되었다. 각각의 선 전류는 삼상 평형을 이루었다. 상 전류는 DC link 커패시터의 한 개의 전류센서를 이용하여 측정하였다. 따라서 PTBC에서 전류 센서의 수를 증가하는 문제를 해결하였다. 그러나 기존의 전류 재구성 방법은 영상태 전류 상황에서 순환전류가 발생하기 때문에 PTBC에 적용하기 힘들다.

따라서, 본 논문에서는 PTBC에서 전류 센서의 수를 줄이면서 순환 전류 발생시키지 않는 새로운 방법을 제안 하였다.

2. 전류 재구성 방법

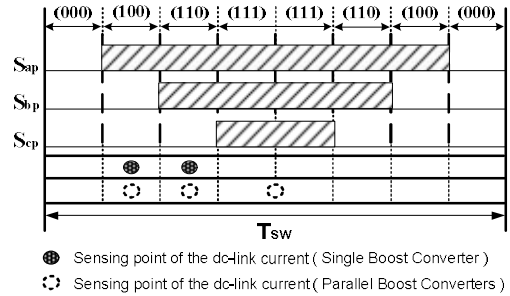


그림 1 섹터 1의 스위칭 상태와 DC-link 전류 측정
Fig. 1 Switching states and sensing the DC-link current in Sector 1

그림 1은 단일 부스트 컨버터와 PTBC의 한 스위칭 주기 동안 섹터 1의 DC link 전류 측정 위치와 스위칭 상태를 나타내고 있다. 단일 부스트 컨버터에서 DC link 전류 센서로부터의 전류 재구성은 두 개의 측정 가능한 유효 전압 벡터에서 측정할 수 있다. 각각의 유효 벡터로 한 상의 전류를 재구성 할 수 있다. 예를 들면, 유효벡터가 (100)일 때, DC link 전류는 A상 전류 i_a 이다. 유효 벡터가 (110)일 때, DC link 전류는 A상 전류와 B상 전류의 합이다. 삼상 전류의 합은 항상 0이기 때문에 세 개의 전류 중에 두 개만 알면 나머지를 구할 수 있다. 그러나 PTBC에서 삼상 전류의 합은 순환 전류 i_0 이기 때문에 2개 유효 벡터의 전류 측정으로 전류를 재구성 할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 PTBC에서 추가적으로 영상태 DC link 전류로 전류 재구성 하는 방법을 제안하였다. PTBC에서 유효 벡터가 (100)일 때 DC link의 전류는 A상 전류(i_{a1} , i_{a2})이다.

$$i_{ax} = i_{dcx}(100), x = 1, 2 \quad (1)$$

유효 벡터가 (110)일 때, DC link로 얻을 수 있는 전류는 A상 전류 i_{a1} (i_{a2})와 B상 전류 i_{b1} (i_{b2})의 합이다. A상 전류를 알고 있기 때문에 B상 전류 i_{b1} (i_{b2})를 구할 수 있다.

$$i_{bx} = i_{dcx}(110) - i_{ax}, x = 1, 2 \quad (2)$$

제로 벡터 (111)일 때, 상 전류는 흐르지 않고 DC link를 통

해 순환 전류만 흐른다. 따라서, C상 전류 $i_{cl}(i_{c2})$ 를 A상 전류,

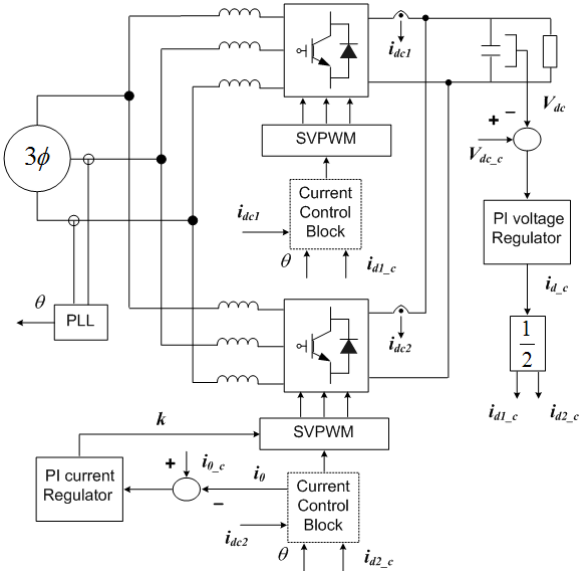


그림 2 제어 방법의 전체적인 구조
Fig. 2 Overall control structure

B상 전류, 순환 전류의 관계를 통해 구할 수 있다. 테이블 1은 섹터 1 동안 각각의 전압벡터에 해당하는 전류 흐름을 나타내고 있다. 이 전압 벡터는 전류 재구성을 하기 위해 충분한 시간이 필요 하다.

$$i_o = -i_{dc1}(111) = i_{dc2} \quad (3)$$

위에 방법처럼 나머지 다른 섹터에서도 2개의 DC link를 사용해서 전류 재구성을 할 수 있다.

3. 제어 알고리즘

그림 2는 제안된 제어 블록도를 보여주고 있다. 그림 2에서 보는 것처럼 두 개의 모듈은 똑같은 부하에 의해 소비되는 전력을 공유하고 있고, 각각 전류제어 블록이 있다.

위상 고정 루프(PLL)는 선간전압의 기준 각을 동기화 한다. 두개 모듈의 유일한 피드백은 d축 기준 전류이고, 이것은 DC link 전압을 조절하는 PI 전압 조절기에서 구할 수 있다.

4. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과는 PSIM을 사용 하였다. 시뮬레이션에 사용된 변수는 표 2에 나와 있다. 순환 전류를 발생시키는 원인인 스위칭 주파수를 다르게 하거나 듀티 비를 다르게 하는 방법들이 있지만 본 논문에서는 표 2에 나온 것처럼 입력 인덕턴스의 값을 다르게 하였다. 그림 3은 5개의 센서를 이용한 입력 전압, 입력 전류, 순환 전류, 출력 전압의 결과와 2개의 전류 센서를 이용한 시뮬레이션 결과 값을 나타내고 있다.

5. 결론

본 논문은 병렬 삼상 부스트 컨버터의 2개 DC Link 전류센서를 사용 하는 방법을 제안 하였다. 제안된 제어 방법은 2개의 유효 전압 벡터에서 뿐만 아니라 영 전압 벡터의 스위칭 동

안의 DC link 전류를 사용하여 전류를 재구성 하였다. 또한 표 2 병렬 삼상 부스트 컨버터 파라메타

Table 2 PTBC parameters

Parameter	Value
Input Voltage (line to line)	208V (RMS)
Output Voltage	400V
Total Rated Power	5.kW/converter
Input inductance (converter1, converter2)	2.5mH 3.0mH
DC Link Capacitance	4,800μF
Load Resistance	30Ω
Sampling time	100μs
Switching frequency	10kHz

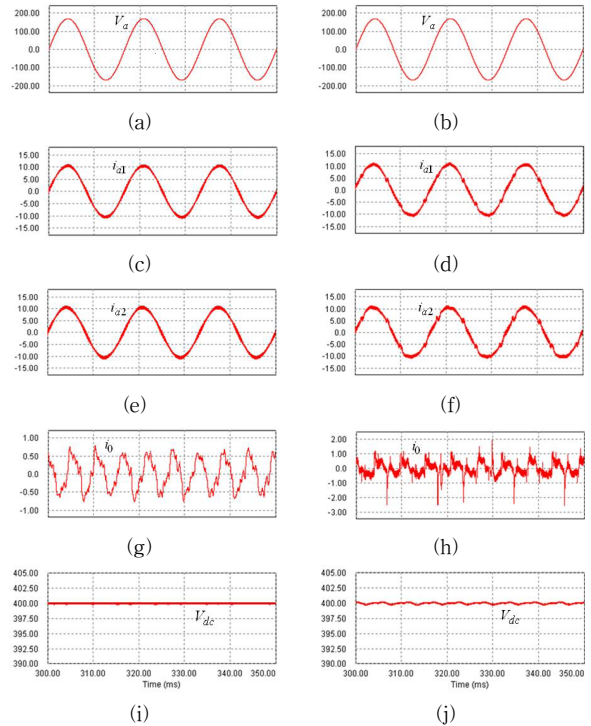


그림 3 5개 전류 센서와 2개 DC-link 전류 센서를 이용한 시뮬레이션 결과 (a)(b)입력전압 (c)(d)입력 상 전류 (컨버터1) (e)(f)입력 상 전류(컨버터2) (g)(h)순환 전류 (i)(j) 출력 전압(DC-link)

Fig. 3 Simulated waveforms using 5 current sensor and two DC-link current sensor (a)(b) Input vottage (c)(d)Input phase current(converter1)(e)(f)Input phase current(converter2) (g)(h) Circulating current (i)(j) Output voltage (DC-link)

PTBC에서 발생할 수 있는 순환 전류를 고려하여 전류를 재구성을 하였다. 제안한 방법은 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

참고 문헌

- [1] S. K. Mazumder "A novel discrete control strategy for independent stabilization of parallel three phase boost converters by combining space vector modulation with variable structure control," IEEE Trans. Power Electron., vol. 18, pp. 1070, Jul. 2003
- [2] W. C. Lee , D. S. Hyun and T. K. Lee "A novel control method for three phase PWM rectifiers using a single current sensor," IEEE Trans. Power Electron., vol. 15, pp. 861, Sep. 2000.