

3상 PWM 컨버터의 병렬운전에 관한 연구

민병권, 류승표, 백병산, 신현주, 김연풍, 김동욱
현대중공업 마북리 연구소

A STUDY ON PARALLEL OPERATION OF TWO 3-PHASE PWM CONVERTERS

B.G MIN, S.P RYU, B.S BAEK, H.J SHIN, Y.P KIM, D.U KIM
Mabookri Research Institute, Hyndai Heavy Industries Co., Ltd.

Abstract - This paper presents parallel operation of two 3-phase PWM converters whose power and control schemes can be directly applied to a large capacity system. This paper describes power circuit, dc voltage regulation, input power factor correction and balancing load control of two converters. Switching device is IGBT and CPU of control is 32-bit floating point DSP for real time instantaneous control. Simulations and experimental results for 20kw model conform the validity of proposed schemes.

1. 서 론

교류 구동 시스템의 폭넓은 보급과 부하설비의 대용량화에 따라 직류전원공급장치도 대용량화의 필요성이 요구되어 왔다. 대용량화를 위한 방법으로 크게 스위칭 소자의 대용량화와 시스템의 병렬운전을 들 수 있다. 전자의 경우 사이리스터와 GTO를 거쳐 현재 대용량 제품이 출시되고 있는 IGBT가 사용되는 추세이며, 후자는 전력회로의 병렬운전 또는 전력소자의 병렬운전을 들 수 있다. 본 논문에서 구성한 3상 PWM 병렬 시스템은 스위칭소자로 IGBT를 채용한 전력회로 병렬이다.

단독운전 PWM 컨버터의 제어 대상이 출력직류전압 제어, 입력역률제어 및 입력전류의 고조파제어 등이나, PWM 컨버터의 병렬운전은 병렬운전시 두 개의 컨버터 사이에서 발생하는 전류 불평형을 영으로 제어하는 것이 필수적이다. 또한 부하기기의 제어특성 또는 부하특성에 만족할 수 있는 제어성능이 요구된다.

본 논문에서는 구성된 컨버터의 출력전압제어, 입력역률제어, 입력전류의 고조파 제어, 비간섭제어 그리고 병렬운전 시스템에서 가장 중요한 핵심기술인 전류분담제어에 관하여 기술하였다. 제안된 제어시스템은 전압제어, 전류제어의 2중 제어루프를 가지고 있으며, 제어기는 PI 제어기를 사용한 공간벡터 변조기법을 이용하였으며, 또한 부하예측기법을 적용하여 빠른 동적 응답특성을 갖도록 하였다. 마이크로프로세서로서 실시간 제어를 위하여 우수한 성능의 DSP 전용소자인 TMS320C31을 사용하였다. 제안한 전력회로 및 제어시스템은 시뮬레이션과 실험을 통하여 제어기 특성 및 시스템 우수성을 확인하였다.

2. 시스템 구성 및 제어 원리

2.1 시스템 구성

일반적으로 대용량 컨버터에서 출력용량을 증대시키기 위하여 복수대의 컨버터를 직류링크를 공통으로 연결하여 병렬시스템을 구성한다. 시스템 구성시 고려할 사항으로 스위칭 소자의 특성과 제어기 특성 그리고 부하특성등이다. 이들 특성이 매칭이 되어야 만족할 만한 시스템 특성을 얻을 수 있다. 본 연구에서 구성한 시스템은 스위칭 소자로 IGBT, 순시제어가 가능한 DSP를 이용

한 PI 제어기 그리고 대상 부하기기로는 축전지 및 UPS용 인버터로 설정하였다. 그림 2.1에 실제 본 연구에서 적용한 병렬운전 PWM 컨버터의 구성도를 보여주고 있다.

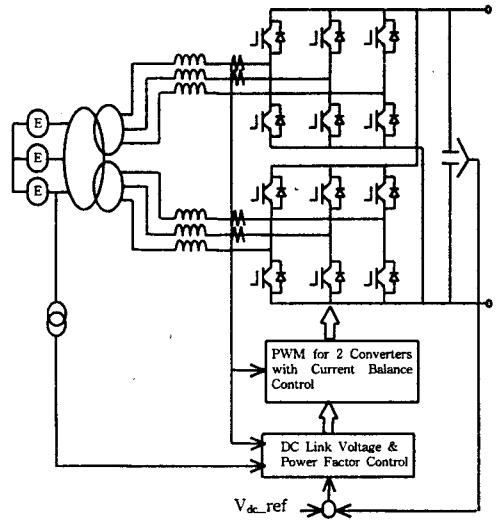


그림 2.1 병렬운전 PWM 컨버터의 구성도

3상 AC 입력에 원하는 DC 전압을 얻고, 절연을 위한 3권선 변압기를 삽입하였다. 그리고 변압기와 IGBT 전력 스택(stack) 사이에 부스트 리액터(boost reactor)를 삽입하였는데 이 리액터는 실제 제작시에는 3권선 변압기의 누설 인덕턴스로 대체될 수 있다. 출력단에는 DC 전압 리플 제거용 콘덴서가 병렬 연결된 정류기 2대에 연결되어 있다. 또한 DC 전압이 일정하게 유지되도록 제어하기 위하여 출력 전압을 피드백 시키고, 입력 역률 제어와 각 정류기의 전류 분담 제어를 위하여 AC 입력 전류와 전압을 검출하여 제어기에 공급한다.

2.2 제어 원리

4상한 운전이 가능한 PWM 정류기의 제어 대상은 전술한 바와 같이 출력 전압 제어, 입력 역률 제어, 입력 전류의 고조파 제거이지만, 이와 같은 병렬운전 시스템에서 이상적인 경우에는 각 정류기에 흐르는 전류가 동일하다고 간주할 수 있으나 실제로는 라인 임피던스 및 AC 리액터의 저항 성분과 인덕턴스 성분의 차이, 스위칭 반도체 소자의 특성 차이 등으로 인하여 필연적으로 전류 불평형이 발생한다. 이 전류 불평형 현상은 부하의 증감에 따라 불평형율이 달라지는 특성이 있는데, 전류가 한 쪽으로 편향되어 흐르게 되면 정류기를 정격 용량으로 운전할 수 없고 심할 경우에는 전력 반도체 소자가 파괴될 수 있다. 따라서 병렬 운전 시스템에서 가장 중

요한 핵심기술은 전류 분담 제어를 위한 PWM 제어 기술이다.

그림 2.2는 3상 병렬 운전 PWM 컨버터의 제어 블록도를 나타낸다.

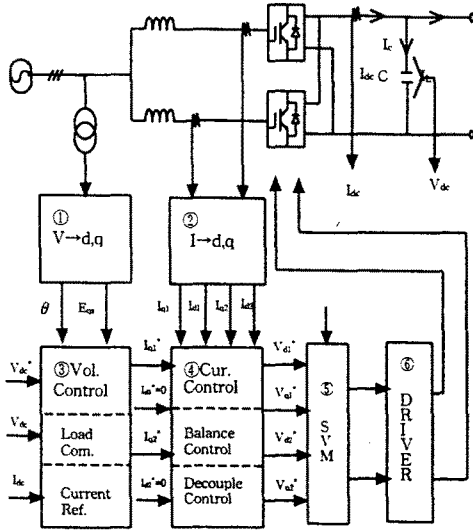


그림 2.2 PWM 컨버터의 제어 블록도

검출된 입력 전압과 전류는 회전 d-q 좌표로 축 변환되어 각각 전압 제어와 전류 제어 블록으로 입력된다(블록 ①, ②). 블록 ③에서는 검출된 DC 전압과 전류를 이용하여 전압 제어와 부하 보상을 통하여 전류 제어 및 전류 분담 제어, 역률 제어를 위한 기준 전류(current reference)를 발생시킨다. 블록 ④에서는 블록 ②, ③에서 계산된 값을 이용하여 전류 제어 및 전류 분담 제어와 역률 제어, AC 리액터에 의한 결합항을 제어하기 위한 비간섭 제어가 이루어지도록 이들 제어량을 블록 ⑤에 입력시킨다. 블록 ⑤에서는 입력된 제어량으로부터 최적의 결과를 얻기 위한 SVM(space vector modulation)된 신호를 발생시키고 이 신호는 블록 ⑥의 게이트 드라이버에서 증폭되어 각 정류기의 IGBT를 구동시킨다.

그림 2.3은 그림 2.2의 제어 블록도에서 블록 ③, ④를 상세히 나타낸 병렬운전 제어선도이다.

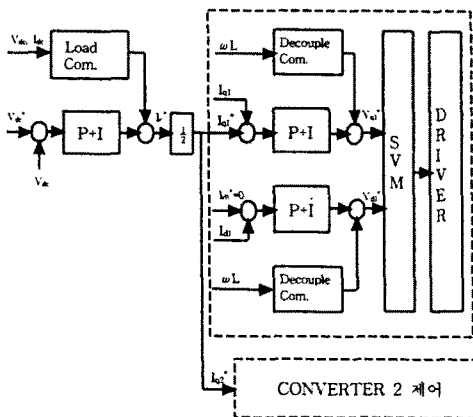


그림 2.3 병렬운전 제어선도

기준 전압 V_{dc}^* 와 실측 전압 V_{dc} 의 오차량을 PI 제어하고 부하 보상을 통하여 기준 전류 I_c^* 를 얻는다. 이 기준 전류는 각 정류기에 동일한 전류가 흐르도록 제어하기 위하여 1/2로 나뉘어진 다음, 각 정류기의 기준 전류 I_{a1}^* , I_{a2}^* 로서 PI 제어기에 입력된다.

PWM 정류기 1, 2는 동일한 제어 알고리즘을 가지므로 정류기 1에 대해서 기술하면, q축의 기준 전류 I_{q1}^* 와 검출 전류 I_{q1} 이 비교되어 PI 제어되고 AC 리액터의 인덕턴스에 의한 간섭을 보상한 값인 V_{q1}^* 이 출력되며, d축의 경우는 역률 제어를 위하여 d축의 기준 전류 I_{d1}^* 를 0으로 한 것이외는 q축과 동일하다. 이들 제어량은 SVM을 통하여 게이트 구동신호로 변환되어 증폭된 다음 각 정류기의 IGBT에 가해진다.

3. 시뮬레이션 및 실험

본 논문에서 제시한 시스템 및 제어기의 특성을 비교, 검토하기 위하여 실제 시스템과 동일한 조건으로 표 3.1과 같은 파라미터로 시뮬레이션 및 제작·실험을 실시하였으며, 표 3.1은 시뮬레이션 및 제작·실험 파라미터를 나타내고 있다.

표 3.1, 시뮬레이션 및 제작·실험 파라미터

항 목	파라미터 값
컨버터 용량	20kW
교류 입력 전압	150VAC
직류 출력 전압	243VDC
스위칭 주파수	3.6kHz
리액터1 인덕턴스	1.0mH
리액터2 인덕턴스	0.8mH
리액터 1의 저항 성분	0.3Ω
리액터 2의 저항 성분	0.5Ω
DC 콘덴서	26500μF

3.1 시뮬레이션 결과

그림 3.1~3.4는 PI제어기에 의한 DC 전압 제어, 역률 제어, 전류 분담 제어를 시뮬레이션한 결과를 보여주고 있다. 그림 3.1은 역률 제어 특성을 보여 주고 있다. 그림에서 I_{as-1} 은 컨버터 1의 R상의 전류, I_{as-2} 는 컨버터 2의 R상의 정류 그리고 V_m 은 전원의 상전압을 나타낸다.

그림 3.2는 컨버터의 병렬 운전시 전류 분담 특성을 보여준다. V_{dc} 는 컨버터의 출력 전압을 나타내고, I_{dc} 는 컨버터의 출력 전류를 나타낸다. 컨버터 1, 2의 전류가 동일함을 알 수 있다.

그림 3.3은 컨버터의 제어 특성을 확인하기 위한 시험으로서, 스텝부하 인가시 제어기의 추종 특성을 보여주고 있다.

그림 3.4는 스텝부하 인가시 컨버터 1, 2의 입력 전류 변화를 보여주고 있다.

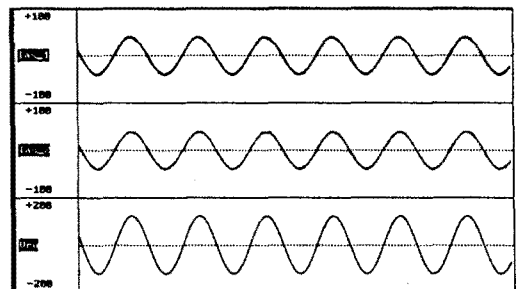


그림 3.1, 역률 제어 특성

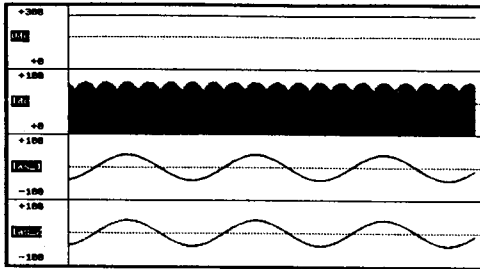


그림 3.2, 컨버터의 병렬 운전시 전류 분담 특성

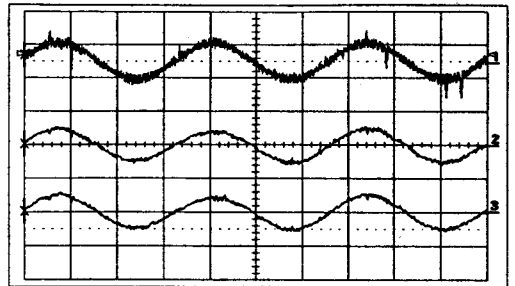


그림 3.6, 컨버터의 병렬 운전시 전류 분담 특성

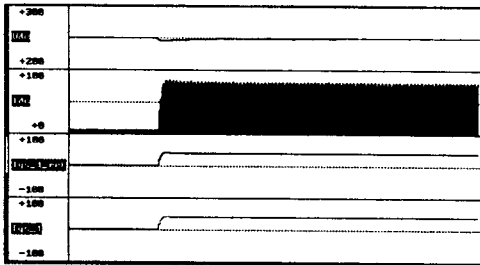


그림 3.3, 스텝부하 인가시 제어기 특성

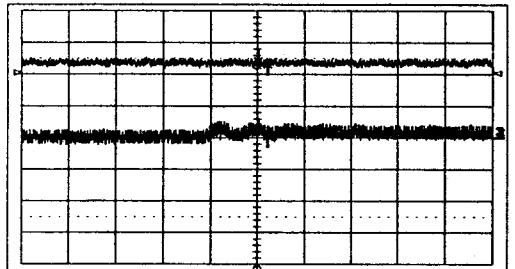


그림 3.7, 스텝부하 인가시 제어기 특성

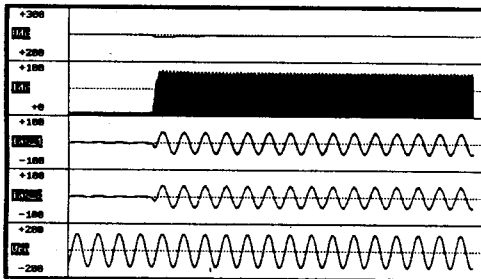


그림 3.4, 스텝부하 인가시 컨버터의 제어 특성

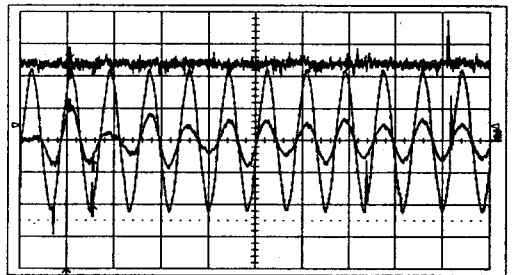


그림 3.8, 스텝부하 인가시 컨버터의 제어 특성

3.2 실험 결과

시스템의 실험은 표 3.1의 시뮬레이션 파라미터와 동일한 조건에서 실시하였다. 그림 3.5는 컨버터 병렬 운전시의 역률 제어 특성을 보여주고 있다. 전류와 전압의 위상이 동일함을 알 수 있다. 그림 3.6은 컨버터 병렬 운전시의 전류 분담 특성을 보여준다(CH1:전압, CH2,3:전류). 그림 3.7은 스텝부하 인가시 제어기의 추종 특성을 보여주고 있다(V_{dc} , I_{qs_ref} , I_{qs}). 그림 3.8은 스텝부하 인가시 제어기의 전체적인 응답 특성을 보여준다(V_{dc} , V_{ac} , I_{ac}).

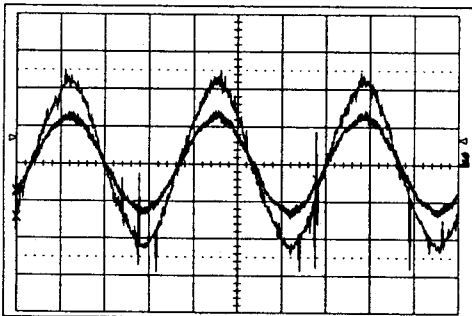


그림 3.5, 역률 제어 특성

4. 결 론

본 논문에서는 3상 PWM 컨버터의 병렬운전을 위한 전력회로, 출력전압제어, 입력역률제어, 그리고 전류분담 제어기법을 제시하였다. 제시한 제어시스템의 실효성을 입증하기 위하여 출력용량 20kw의 시스템을 모의시험 및 제작하여 시험하였으며 실험 결과에서 확인 할수 있듯이 양호한 결과를 얻었다.

본 연구에서 제시한 제어기법과 시스템 자료는 대용량 병렬운전 시스템에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

(참 고 문 헌)

- [1] 설승기 외, "전철용 단상 GTO PWM converter의 병렬운전", KIEE, pp756-761, 1995
- [2] T. Sukegawa et al., "A Multiple PWM GTO Line-Side Converter for Unity Power Factor and Reduced Harmonics", IEEE/IAS Annual Meeting Conf. pp. 279~284, 1991.
- [3] Y. H. Chung et al., "Parallel Operation of Voltage Source Inverters by Real Time Digital PWM Control" EPE FIRENZE, pp. 58-63, 1991.
- [4] M. Hombu et al., "Quick Response and Low-Distortion Current Control for Multiple Inverter-Fed Induction Motor Drivers" EPE FIRENZE, pp. 42-47, 1991.