

3KW 3상 인터리브드 부스트 컨버터 구현 및 실험

차한주, 강영주
충남대학교

Implementation and Experiment of 3KW Three Phase Interleaved Boost Converter

Hanju Cha, Youngju Kang
Chungnam National University

Abstract - 본 논문은 태양광 PCS 발전 시스템을 위한 3KW 3상 인터리브드 부스트 컨버터의 동작과 제작을 위한 기반사항에 대해 서술하였으며, 컨버터의 회망 출력전압을 얻기 위한 제어부의 구성과 비례전류 제어를 사용한 동작알고리즘을 포함해 실제 PCB 제작을 위해 선정된 부품 및 배치의 구성에 대해 다루었다. 제어부는 아날로그가 아닌 디지털 제어를 채택하여 컨버터 각 부의 센서를 통해 전류, 전압 값을 취득하고, 이를 DSP에서 처리하여, 기준값과 피드백 값과의 오차 보상을 위한 PWM 신호를 생성, 컨버터를 동작시킨다.

환, 마지막으로 스위치 S3의 전환이 차례로 이루어진다. 이때 S1, S2, S3의 ON 되는 절대 시간량, OFF 되는 절대 시간량, 다시 말해 시비율은 다르지 않고, 모두 동일하다. 따라서 파워부의 스위치는 게이트에 인가되는 PWM 신호에 의해서 모두 동일한 시비율로 각 상의 시간영역에서 스위칭이 일어날 수 있도록 한다.

1. 서 론

다상 컨버터는 다양한 접근 관점에서 단상에 비하여 보다 많은 이점을 갖는다는 사실이 이미 증명되었다.[1] 리플 저감의 효과로 품질 및 손실의 관점에서의 효율 상승을 기대할 수 있고, 필요한 인덕턴스 및 커패시턴스의 감소로 인해 크기 및 비용 조절의 용이성을 갖는다. 이러한 효과는 다상 구성으로 인한 입력전류의 위상차를 발생시켜, 상의 중첩으로 인한 리플의 상쇄효과에서 기인한다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 각 상의 전류 위상 및 전류, 전압의 리플 저감 증명을 위해 3KW 용량의 부스트 컨버터 실 제작을 목적으로 동작원리와 모델의 구성에 대하여 언급하고, 실제의 모델과 같은 파라미터를 갖고 사전 시뮬레이션을 시행하였다.

2. 본 론

2.1 3상 인터리브드 부스트 컨버터의 구성

3상 인터리브드 부스트 컨버터의 전체 구성은 그림 1과 같다. 컨버터의 구성은 직접적인 고전압 및 고전류가 흐르는(이하 파워부) 부분과 신호처리, 3상의 위상차 및 스위치 온-오프 지령을 발생시키는 제어부로 양분한다.

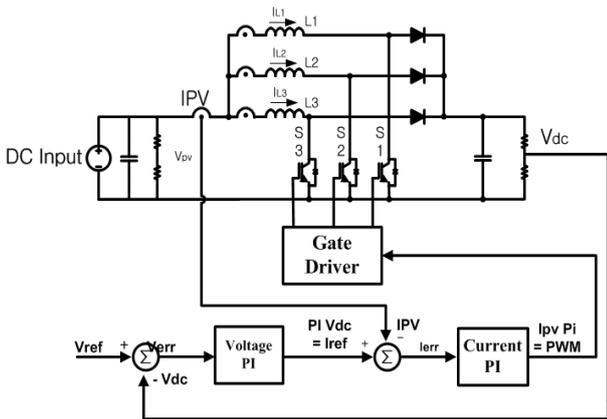


그림 1. 3상 인터리브드 부스트 컨버터 전체의 다이어그램

2.1.1 컨버터의 파워부 동작

컨버터의 파워부는 3개의 인덕터와 다이오드 및 스위치로 3상을 구성한다. 이는 파워부내에서 다시 승압이라고 칭할 수 있다. 또한 입, 출력 양단에 커패시터를 설치하여 전원의 안전성을 기하는 필터부 역시 컨버터 구성의 주요 구성 부분이다. 파워부에서의 동작은 120°의 위상차가 발생하므로, 그림 2와 같이 순차적으로 동작한다. 각 상이 공유하는 시간의 전체 영역을 1이라 가정했을 때, 처음 1/3 구간의 시간은 스위치 S1의 ON, OFF 전환이 이루어지고, 다음의 1/3 구간은 스위치 S2의 전

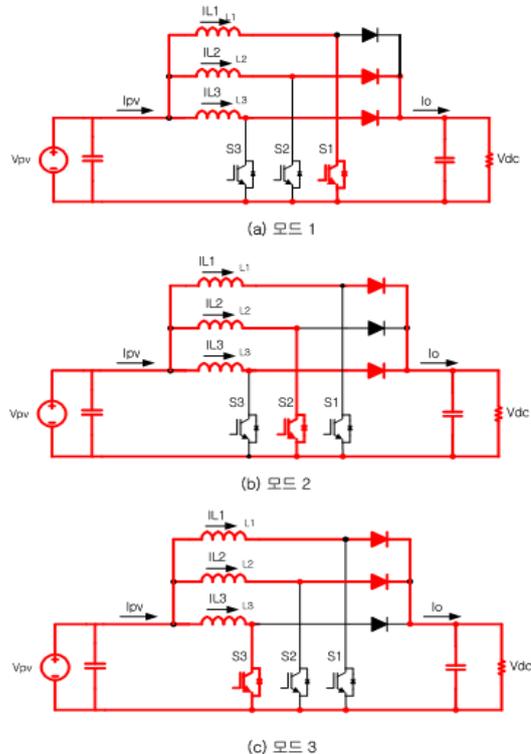


그림 2. 컨버터의 스위칭 온-오프에 따른 동작

2.1.2 컨버터 제어부 동작

부스트 컨버터 제어의 목적은 희망하는 출력전압의 발생 및 일정 유지도록 하는 것이다. 이를 위해 PWM 제어 기법을 사용하며, 제어를 위해서는 대상 및 필요한 인자를 컨버터 파워부로부터 센서를 통해서 검출, 취득할 필요가 있다. 본 논문에서는 상기에 언급한대로, DSP를 사용한 디지털 제어를 구현하였으므로, 검출된 아날로그 값은 디지털 값으로의 A/D 변환이 필요하며, 이는 매 설정 샘플링 시간마다 AD 변환을 통해 DSP에서 취득될 수 있도록 한다. 우선, 컨버터의 출력전압(Vdc)이 DSP내에서 처리되기 위해 A/D 변환 전, 0~3V의 범위로의 조정이 선행되어야 한다. 컨버터 출력측의 전압은 고압이므로, 디지털부에서 다루는 범위와 차이가 있다. A/D 변환의 시행 시에는 스위칭 순간을 고려한 변환 시점을 결정하는 것 역시 고려되어야 한다.[2]

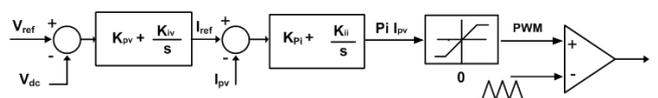


그림 3. PI 제어의 구성

검출된 출력전압, 즉 현재의 전압값은 컨버터의 기준전압과의 비교를 통해서 그 오차(Verr)를 계산하고, 그 차이를 줄이기 위해 펄스폭의 조절을 통해 보상이 이루어지도록 한다. 이를 위해 비례적분제어(이하 PI제어) 연산을 통해서 구현되도록 한다. 전압 PI제어를 통해 계산된 Pi_Vdc 제어가 출력은 전류명령치 Iref가 되고, 다시 컨버터의 입력전류(Ipv)와의 비교를 통해 그 오차만큼 전류 PI제어가 이루어지게 된다. 이렇게 얻어진 PI_Ipv는 양수와 음수의 값을 가지므로 DSP 내의 레지스터 값을 위해 리미트를 수행하여 최종적인 PWM 신호를 발생하게 된다. PWM 신호는 컨버터 스위치의 게이트에 인가되어 컨버터의 입력전압의 가변이 될지라도, 항상 목표한 전압 값을 유지하기 위해 동작된다.

2.2 하드웨어 제작 사양

컨버터는 3KW 용량의 목표로 제작하였다. 컨버터의 주요 구성부품의 파라미터 값은 아래와 같다.

표 1. 3KW 제작 부스트 컨버터의 각 부 파라미터

컨버터 용량	3KW
입력전압의 범위	100V~350V 공급
컨버터의 출력전압	400V 유지
컨버터의 스위칭 주파수	10kHz
입력 커패시터	2000uF
출력 커패시터	6000uF
인덕터	2mH (±15%) 90mm(D) x 35mm(W)
스위치	IXGH 30N60C2D1
다이오드	IXGH 30N60C2D1

3개의 인덕터는 모두 동일한 2mH를 사용하였으며, 입력단과 출력단의 커패시터는 각각 2000uF, 6000uF를 사용하여 필터를 구성하였다. 컨버터의 입력전류를 검출하기 위한 센서는 최대 흐르는 입력전류가 약 16A 임을 감안하여 25A까지 측정이 가능한 LEM사의 LA-25P를 사용하였다. 보다 고전류의 측정이 가능한 센서는 사용 전류의 범위를 고려했을 때, 오히려 정확도가 감소할 우려가 있다. 또한 입력전류 외에 각 상의 인덕터 전류를 개별적으로 관찰 할 수 있도록 추가적으로 센서를 장착, 총 4개의 전류 센서를 구성하였다. DSP는 TMS320F2808을 사용하여 ADC, PWM, 인터럽트의 기능을 외부의 추가 구성 요소 없이 단일화하였다. 이외에 3상, 120°도 위상발생을 위해 DSP의 PWM 레지스터를 이용할 수 있으나, 추가로 FPGA를 장착해 위상 발생의 기능을 선택적으로 사용할 수 있도록 실험의 편의를 도모하였다.

2.2.1 하드웨어 구조

PCB 제작 시에도 파워부와 제어부의 구분이 필수적이다. 그림 4의 접선의 상부는 파워부를, 하부는 제어부를 배치한 것이다. 부품 배치 시의 최우선적 고려사항은 파워부의 인덕터 상호간 커플링 효과 방지와 고압, 고전류가 흐르는 동선으로 인한 노이즈 효과를 배제할 수 있도록 구성되어야 한다. 또한 파워부의 그라운드와 디지털 제어부의 그라운드의 구별 역시 이루어져야 함을 주의한다.

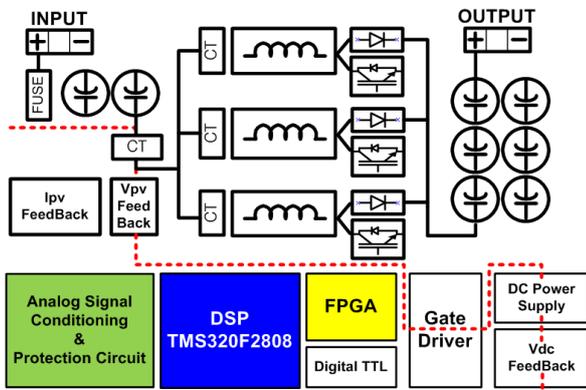


그림 4. PCB 레이아웃 구성도

신호의 검출과 입, 출력 관계에 있는 부품간에서는 가능한 단거리를 구성하여 신호의 왜곡과 손실을 줄여야 한다. 예를 들어 전류센서(CT)와 DSP, 게이트 드라이버와 IGBT간의 거리는 최소화함이 권유된다. 또한

센서의 신호 전달경로에 고압, 고전류가 PCB 상하로 근접하지 않도록 배치하였다.

2.3 시뮬레이션

입력전압 300V 인가 시, 400V의 출력전압을 갖도록 모의 시뮬레이션을 시행하였다.

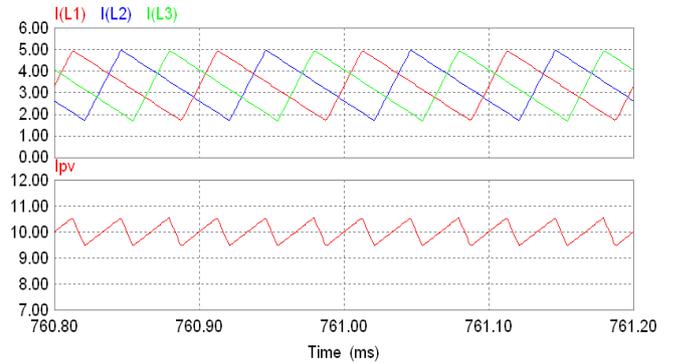


그림 5. 3상의 인덕터 전류(상)와 입력전류(하)

그림 5와 같이 인덕터의 각 상전류와 비교해 입력 전류의 리플이 대략 32~34%의 수준으로 감소했음을 확인하고, 컨버터의 부하 용량을 1KW에서 3KW 가변 시에 400V 출력전압이 일정 유지됨과 동시에 입력전류의 변화추이를 그림 6에 보듯 확인할 수 있다.

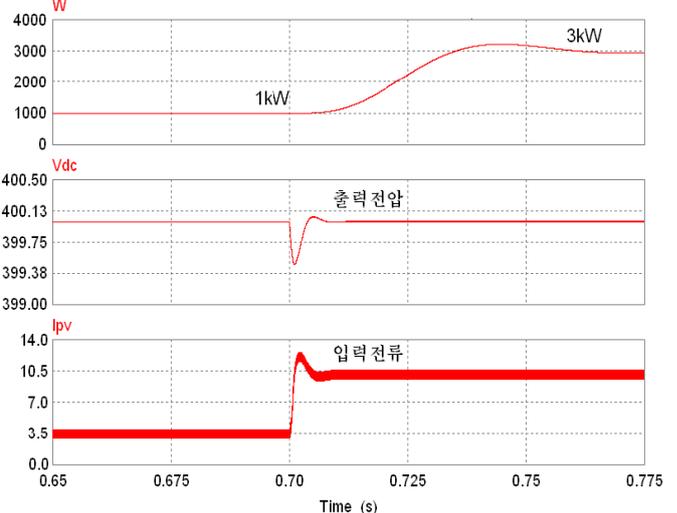


그림 6. 부하 용량 변화 시, PI 제어되는 전압 및 전류

3. 결 론

3상 인터리브드 부스트 컨버터의 동작을 위해서는 스위칭의 제어가 필요하고, 이는 PWM 신호의 조절에 의해 이루어지며, 이 과정에서 컨버터 입, 출력 전압의 검출과 PI 제어과정이 필요하다. 본 논문에서는 첫째, 전류, 전압의 검출 값과 기준값과의 비교를 통해 오차를 계산하고, 그 차이만큼 보상이 되도록 펄스폭의 조절로 컨버터의 스위칭이 이루어지도록 하였다. 둘째, 하드웨어 제작과정에서는 부품간의 영향이 최소화되는 구조설계를 제시하였다. 마지막으로 DSP를 이용한 연산을 시행하기에 앞서, 같은 파라미터의 값으로 PI제어를 시행하여 인터리브드 컨버터의 효과가 가지는 입력전류의 특성을 확인하였다.

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Michael O'Loughlin, "An interleaving PFC Pre-regulator for high power converters", Texas Instruments, Topic 5 pp 1474-1485, NOV, 2004
- [2] 양오, "DSP를 이용한 단상 PFC의 설계", 전자공학회 논문지, 제44권 SC편 제6호, pp 450-458, 112007