

MPPT 동작을 위한 부스트 컨버터 저주파 리플저감 설계방법

김찬인, 김도현, 응웬탄탓 박종후
 숭실대학교

Analysis and design of boost converter controller design for low-frequency ripple reduction

Chan In Kim, Moon Sol, Do Hyun Kim, Joung Hu Park
 Soongsil University

ABSTRACT

최근 환경오염과 화석연료 고갈 때문에 신재생에너지원의 효율적인 활용은 중요한 화두가 되고있다. 신재생에너지를 효율적으로 사용하기 위한 PCS(Power Conditioning System)에서 인버터 동작에 의한 120Hz 리플은 신재생 에너지를 효율적으로 사용하기위한 MPPT(Maximum Power Point Tracking)에 영향을 준다. 본 논문은 태양광 PCS 설계할 때 인버터 출력전류에 의하여 발생하는 태양광패널 전압리플을 저감하기 위하여 부스트 컨버터의 제어기 설계방법을 제안하고자 한다. 제안된 방법을 통하여 태양광 전압의 전압리플을 제거하여 원활한 MPPT 동작을 할 수 있게 만든다. 제안된 방법을 설명하고 이의 타당성을 증명하기 위하여 PSIM과 MATLAB simulation을 검증하였다.

1. 서론

최근 꾸준히 연구가 이루어지고 있는 태양광 PCS의 주된 목적은 크게 두 가지로 볼 수 있다. 첫째로 태양광에서 발생된 낮은 전압의 에너지를 상용 전압레벨까지 승압시키고 직류로 발전된 에너지를 실제 계통과 같은 교류로 사용하기 위함이다. 그 다음은 태양광의 최대 전력지점을 찾아 태양전지의 효율을 극대화 시키는데 있다. 그림 1에서처럼 DC/DC컨버터가 인버터와 직렬로 연결되어 있을 경우 DC Link 전압에 120Hz에 해당하는 무시할 수 없는 크기의 리플이 존재하게 된다. 이러한 특성은 전압 제어기의 낮은 Bandwidth로는 제거하기 어렵다. 이로 인하여 MPPT에 영향을 미친다. 또한 계통의 고장이나 정전 등으로 인하여 계통과 분리되었을 경우 기존의 전압 제어기는 제어의 방향이 달라 독립운전모드에서 계통운전모드로의 전환이 용이하지 않았다. 이러한 문제를 해결하고자 본 논문에서는 전압제어보다 응답특성이 좋은 전류제어기를 설계하고 또한 커패시터에 따라 독립운전과 계통운전의 부스트 컨버터의 전달함수의 Worst case를 판별하고 이로 인하여 전류 제어기의 최적설계를 함으로써 태양광의 전압리플을 제거하여 원활한 MPPT 동작을 할 수 있게 하였다. 또한 제안된 방법을 검증하기 위하여 PSIM과 MATLAB을 이용하였다.

그림 1은 PCS의 제어이다. 계통연계시 부스트 컨버터 제어기는 MPPT동작을 하게 된다. 만약 계통과 분리되거나 계통이 들어오지 않는 지역에서는 독립운전을 하게 되는데 이때 부스

트 컨버터는 인버터의 상용레벨동작을 위하여 DC Link 전압을 제어하게 된다. 이때 전압제어기를 사용하게 넓은 band width로 설계할수 없고 또한 두 동작의 모드가 다르기 때문에 설계의 어려움이 있다. [1][2]

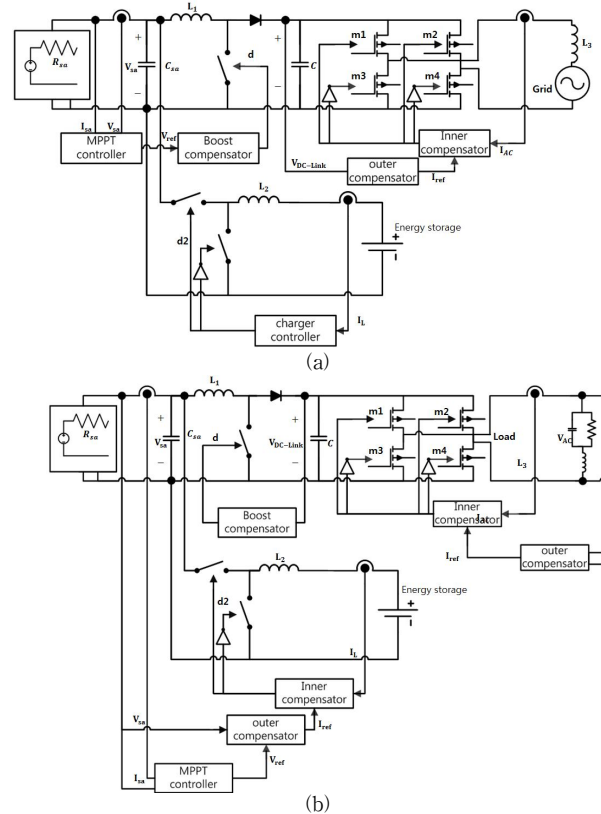


그림 1 태양광 PCS의 구조 (a)계통운전 (b)독립운전

2. 리플 저감 부스트 컨버터 설계

2.1 독립운전과 계통운전시 부스트 컨버터 분석

컨버터의 제어기 설계 및 안정도 분석을 위해서는 컨버터의 전달함수 식이 필요하다. 이때 전달함수를 얻기 위해서 동적 평형상태에서의 동작 점을 기준으로 비선형 시스템을 선형화하여 전달함수를 구하는 방법인 State Space averaging 방법을 이용한 소신호 모델링 기법을 적용하여 전달함수 G_{id} 를 계산하였다.

$$G_{id} = \frac{\hat{I}_L}{\hat{d}} = \frac{\frac{V_{dc}s}{L} + \frac{V_{dc}}{RLC}}{s^2 + \frac{1}{RC}s + \frac{D^2}{LC}} \quad (1)$$

$$G_{id} = \frac{\hat{I}_L}{\hat{d}} = \frac{\frac{V_{dc}s}{L} - \frac{V_{dc}}{R_{sa}LC_{sa}}}{s^2 - \frac{1}{R_{sa}C_{sa}}s + \frac{D^2}{LC_{sa}}} \quad (\text{단 } R_{sa} < 0) \quad (2)$$

식 (1)는 부스트 컨버터가 독립운전 모드로 동작할 경우 전달함수이고 식 (2)는 부스트 컨버터가 계통운전으로 동작할 경우 전달함수이다. 제어기 설계에 Bode Plot을 사용하기 위해서 라플라스 변환 하였다.

전달함수를 보면 C_{sa} 의 값이 C 보다 작을 경우, 두 개의 Pole이 독립운전모드에서 주파수의 값이 더 작으므로 독립운전 모드에서는 식 (1)을 이용하여 설계하도록 하고 C_{sa} 값이 C 보다 클 경우, 계통연계모드에 전달함수에 맞추어 설계하여 worst case를 만족 시킨다.

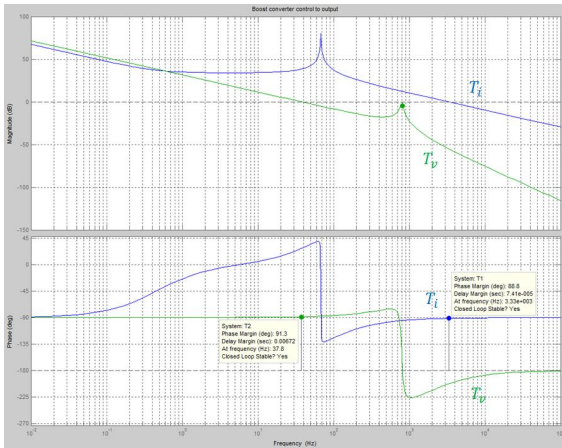


그림 2 전압제어기와 전류제어기 Loop Gain

그림 2는 계통연계동작시 전압제어기와 전류제어기를 설계 시 MATLAB을 이용하여 그린 Loop Gain이다 그림에서 보듯이 전압제어기는 전류제어기에 비하여 120Hz의 이득이 작기 때문에 120Hz 리플 발생 시 태양전지 전압이 영향을 많이 받게 된다.

2.2 시뮬레이션

위에서 계산한 전달함수를 이용하여 일반전인 전압 제어방식과 전류제어 방식을 비교하기 위하여 최적의 제어기를 설계

L	0.4[mH]	V _{sa}	160[V]
V _{dc}	400[V]	P	1024[W]
C _{sa}	470[μF]	C	2200[μF]

한 후 이를 PSIM 시뮬레이션을 통하여 검증한다. [1][2]

표 1 시뮬레이션 주요 파라미터

그림 3의 파형은 120Hz의 주파수를 갖는 10V 리플이 DC Link에 발생하였을 때의 다른 제어기를 사용하였을 때 입력전압에 어떤 영향을 미치는지 확인하는 파형이다. 먼저 (a)의 파형은 기존의 전압 제어기를 사용하였을 때이고 아래는 전류

제어기를 사용하였을 때이다. 그림 2에서 나타나듯이 전류제어기를 사용하였을 때 전압제어기를 사용하였을 때보다 출력전압의 리플이 9.7% 감소되어 입력전압에 미치는 영향을 최소화

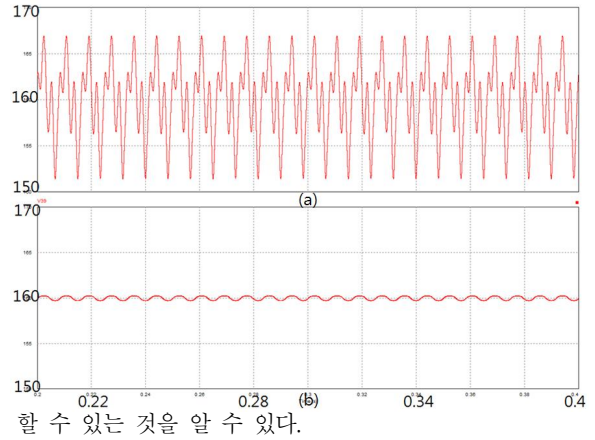


그림 3 (a)전압 제어기 사용 시(b)전류 제어기 사용 시

다음 시뮬레이션은 PCS가 계통연계 모드로 동작할 경우 별도의 전압제어기를 추가하지 않고 전류 제어기만으로 MPPT를 실행 하는 시뮬레이션이다. 즉 하나의 전류 제어기를 통하여 MPPT동작과 DC link의 Inner Loop이 되어 DC Link 제어에도 사용된다. 그림 4는 에너지 저장장치를 포함한 PCS로 실행된 시뮬레이션의 파형이다. 그림 4와 같이 계통이 사고나 정전 등으로 인하여 분리되었을 때 제안된 제어기가 MPPT로 동작하다가 DC Link 전압 제어로 변환하는 시뮬레이션이다.

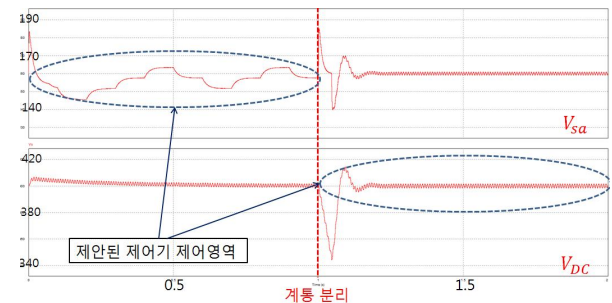


그림 4 계통분리 시뮬레이션 결과 파형

3. 결론

본 논문은 계통연계형 태양광 PCS의 경우 인버터의 동작에 따른 PCS에 120Hz리플에 의한 영향이 부스트 컨버터의 MPPT동작에 영향을 미치기 때문에 부스트 컨버터의 입력에 영향을 감소시키는 전류제어기를 사용함과 동시에 전류 비교를 통한 MPPT를 사용하여 MPPT동작을 PSIM으로 검증하였다.

참고 문헌

- [1] An Yeol Jung, "PWM Control Technique and Performance Analysis for DC Link Ripple Reduction Integrated Converter Photovoltaic Systems" 2010 Power Electronics Annual Conference, pp70~71.
- [2] Guochun Xiao, "Novel Active Voltage Quality Regulator With Adaptive DC Link Voltage Control" Journal of Power Electronics, Vol. 11 No 6, Nov 2011