

PV Simulator 구축을 위한 3상 PWM 컨버터 개발

유태식, 장태근, 김효성
공주대학교 전기전자제어공학부

Development of Three Phase PWM Converter for PV Simulator

Taesik Yu, Taeguen Jang, Hyosung Kim
School of EE and control Engineering, Kongju National University

ABSTRACT

PV Simulator는 태양광발전용 Power Conditioning System (PCS)을 개발하거나 제품 출하 시 성능을 시험하기 위하여 필요한 장비이다. 본 논문에서는 3상 PWM 컨버터로 안정된 직류전압원을 확보하고, 3대의 DC DC 컨버터에 의하여 각각의 PV array에 대한 I V 특성을 독립적으로 모사할 수 있는 구조의 PV Simulator를 제안한다. 제안된 PV Simulator의 동적 성능을 확보하기 위하여는 DC DC 컨버터에서 요구하는 순간적인 전류 외란에 대하여 강인하고 안정적인 DC전압을 공급해주는 3상 PWM 컨버터의 성능이 요구된다. 본 논문에서는 부하전류의 외란에 대한 3상 PWM 컨버터의 전압응답 특성을 분석하고, 외란에 강인한 제어기를 설계하고 제어계인을 선정한다. 시뮬레이션과 실험을 통하여 제안된 제어기의 성능이 우수함을 검증한다.

1. 서론

IEC규정 태양광 효율기준 EN50530에는 PCS에 대한 전반적인 효율 평가시험을 수행하기 위하여 PV Simulator를 사용하도록 기준이 명시되어 있다. 이 규정에서는 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 시험을 위하여 PV Simulator가 결정 실리콘형과 아몰퍼스막박형 PV array에서의 I V Curve와 P V Curve를 모두 모사할 수 있어야 한다.^[1]

본 논문에서는 3상 PWM 컨버터로 안정된 직류전압원을 확보하고, 3대의 DC DC 컨버터에 의하여 각각 3대의 PV array의 I V 특성을 독립적으로 모사할 수 있는 구조의 PV Simulator를 제안한다. 제안된 방식의 PV Simulator는 3대의 독립된 DC DC 컨버터의 동작에 의하여 3 개의 독립된 최대 전력점(Maximum Power Point; MPP)의 형성 가능하여 PCS의 성능시험시 동적 최대전력추종 시험뿐만 아니라, PV array의 그림자효과에 대응하는 Global MPPT 시험이 가능하다.

3상 PWM 컨버터의 제어시스템은 내측의 전류제어기와 외측의 전압제어기로 구성되며 안정적인 견실한 제어를 위하여 PI제어기를 사용한다. 통상적으로 3상 PWM 컨버터의 PI제어기의 제어계인은 입출력필터와 전원임피던스 및 부하 등의 회로조건에 의해 구성되는 전달함수를 분석하여 설계한다.^[2,3] 그러나 이러한 통상적인 제어시스템은 부하전류가 급변하는 외란 조건에서 컨버터의 직류측 전압에 과도현상이 발생하여 PV Simulator의 안정된 운전에 심각한 영향을 줄 수 있다.

본 논문에서는 부하전류 외란 조건에서도 PWM 컨버터의 직류측 전압을 안정하게 유지하는 전향보상기를 제안하고 제어계인을 구한다. MATLAB에 의한 시뮬레이션 모델을 구성하여 PWM 컨버터의 전압제어 및 전류제어를 위한 PI 계인을

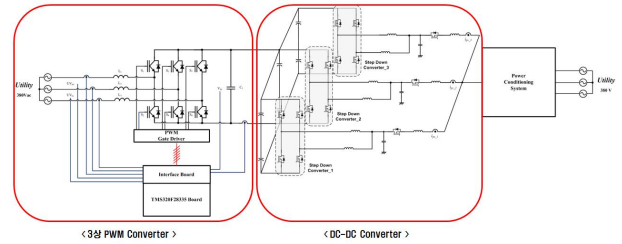


그림 1. PV Simulator 구성도

표 1 3상 PWM 컨버터 사양

| Parameter | | Value |
|-----------|-----------|------------------------------|
| Input | V_{L-L} | 160V _{ac} (3 Phase) |
| | I_L | 18.8A (@160V _{ac}) |
| Output | V_{dc} | 0 ~ 300V (Ripple: 2%) |
| | I_{dc} | 0 ~ 10A (Ripple: 2%) |
| Power | | 3[kW] |

산출하고 실험결과와 비교하여 제안된 이론의 타당성을 검증한다.

2. 3상 PWM 컨버터

2.1 개발 사양

그림 1은 본 논문에서 제안한 PV Simulator의 구성도로서 3상 PWM 컨버터, DC전압을 입력받아 I V Curve를 만들어주는 DC DC 컨버터로 구성되어 있다. 표 1은 개발하고자 하는 3상 PWM 컨버터의 사양으로서 300V_{dc}와 10A 범위의 전력을 후단의 DC DC 컨버터에 공급하도록 한다.

2.2 3상 PWM 컨버터 제어기 설계

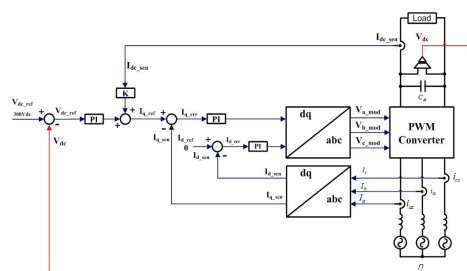


그림 2. 전향보상기를 포함한 PWM 컨버터 제어시스템 블록도



그림 3. 3상 PWM 컨버터의 실제외형

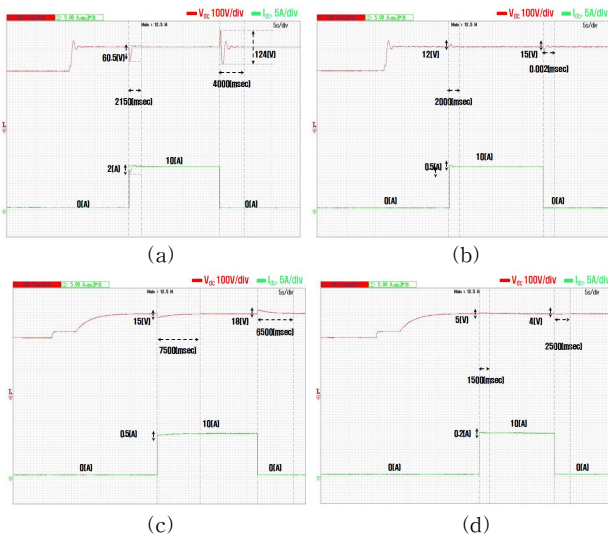


그림 4. 전향보상의 유무비교 출력전압 및 출력전류 파형
(a) DSP ver.1, (b) DSP ver.2, (c) DSP ver.3,
(d) DSP ver.4

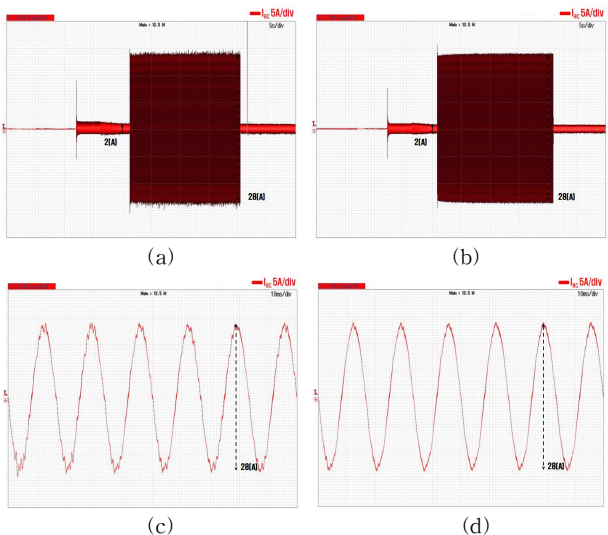


그림 5. 입력전류 파형; (a) DSP Ver.2, (b) DSP ver.4,
(c) DSP ver.2 확대파형, (d) DSP ver.4 확대파형

본 논문에서 제안하는 3상 PWM 컨버터의 제어시스템 구성도는 그림 2와 같다. DSP를 사용하여 이산제어시스템을 구축하였으며 안쪽 루프의 교류전류제어기에 대하여 바깥쪽 루프의 직류전압제어기는 제어밴드폭을 10배정도 낮추어 제어함으로써 전체적인 제어 균형을 맞춘다. 본 논문에서는 I_{dc} 를 검출한 전향보상기를 직류전압 제어기에 추가하여 부하전류 외란에

표 2 3상 PWM 컨버터 제어 gain 비교

| | 개선 전 gain값 | | 개선 후 gain값 | |
|-------------------|------------|-----------|------------|-----------|
| | DSP ver.1 | DSP ver.2 | DSP ver.3 | DSP ver.4 |
| K_{p_vc} | 0.08 | 0.08 | 0.95 | 0.95 |
| K_{i_vc} | 0.00057 | 0.00057 | 0.00025 | 0.00025 |
| K_{p_cc} | 9.05 | 9.05 | 12 | 12 |
| K_{i_cc} | 1.28 | 1.28 | 0.2 | 0.2 |
| $I_{qe_ref_ff}$ | | 2 | | 2 |
| V_{dc_Ripple} | 41% | 5% | 6% | 1.7% |

강인하고 전압레귤레이션 특성이 우수한 제어시스템을 구성하였다.

3. 실험

3.1 직류전압 전향보상기 실험

3상 PWM 컨버터는 6개의 IGBT와 교류 입력측 인덕터 L_i 및 직류 출력단 평활용 커패시터 C_{dc} 로 구성되어 있고 이산제어를 위한 제어보드는 DSP(TMS320F28335)를 사용하였다. 스위칭 주파수는 10(kHz)로 동작하고 제어기 프로그램의 주요부분은 전압제어기, 전류제어기, 전류보상기, 동기좌표계 PLL, SVPWM으로 구성된다.

실험 순서는 표 2와 같이 MATLAB 시뮬레이션에서 구한 PI게인을 적용하여 실험을 했다. DSP ver.1은 통상적인 전달함수 분석방법에 의하여 계산한 PWM 컨버터의 제어게인 값이고, DSP ver.2는 여기에 Feedforward를 추가적으로 적용한 경우이다. DSP ver.3은 시뮬레이션 모델에서 시행착오적인 방법으로 구하여 개선된 제어게인 값이고 마지막으로 DSP ver.4은 개선된 제어게인 값과 Feedforward를 적용한 경우이다.

4. 결론

본 논문에서는 직류측 부하전류를 전향보상하여 직류전압 제어기에 추가하고 전압 및 전류 제어기의 PI게인 값을 산출하여 부하전류 외란에 강인하고 전압레귤레이션 특성이 우수한 제어시스템을 제안하였다. MATLAB Simulink를 통하여 제안된 제어시스템의 제어게인을 도출하였고, 설계된 제어게인을 실 장비에 적용하였을 때 제어특성이 우수함을 확인하였다. 실험 결과 DSP ver.4의 경우 가장 우수한 입력특성을 확보할 수 있었다. 개선된 제어시스템은 기동시의 과도특성도 우수함을 볼 수 있었다.

이 논문은 카코뉴에너지의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] IEC EN50530 Standard for Overall efficiency of photo voltaic inverters, CENELEC, Stassart 35, B 1050 Brussels.
- [2] 장정익, 이동춘, 김홍근, “전원전압의 불평형 및 왜곡시 3상 PWM 컨버터의 전류제어”, 전력전자학회 논문지, 제12권, 제 1호, pp.27 36, 2007.
- [3] P. Enjeti and S. A. Choudhury, “A new control strategy to improve the performance of a PWM AC to DC control strategy to improve the performance of a PWM AC to DC converter under unbalanced operating conditions.” in proc. IEEE PESC Conf., pp. 382 389, 1991.