

스위칭방식 PV Simulator의 제어 알고리즘 개발

유태식, 나재호, 김효성
공주대학교 전기전자제어공학부

Development of Control algorithms for Switch Mode PV Simulator

Tae Sik Yu, Jae Ho Na, Hyosung Kim
School of EE and Control Engineering, Kongju National University

ABSTRACT

태양광 효율 기준 규정인 IEC의 EN50530에서는 태양광발전용 PCS(Power Conditioning System)의 성능평가를 위하여 PV Simulator를 사용하도록 규정하고 있다. PV Simulator는 전압원과 전류원의 복합적인 특성을 갖는 PV array의 전압특성을 구현하여야 한다. 즉, I_{sc} 동작점 부근에서는 전류원의 형태로 동작하고, V_{oc} 의 동작점 부근에서는 전압원의 형태로 동작하여야 한다. 또한 MPP 운전점에서는 전류원도 아니고 전압원도 아닌 중간적인 동작 특성을 갖는다. 본 논문에서는 PV Simulator의 출력방식을 전압원형과 전류원형으로 구현하는 제어시스템의 동작 특성을 실험을 통하여 비교 연구한다.

1. 서론

태양광 발전을 위하여 PV array를 설치하기 위해서는 통상적으로 kW당 약 2m²의 완전히 개방된 공간이 요구된다. 또한 PV array의 출력은 기후환경에 영향을 받으므로, 원하는 기상 조건에 대하여 자유롭게 PCS의 성능을 시험할 수 없다.

PV Simulator는 상대적으로 kW당 0.1m² 이하의 작은 실내 공간으로 충분하며, 자유롭게 기후환경조건에 따른 PCS의 운전성을 시험할 수 있다. 또한 PV array까지 연결해야 하는 긴 거리의 DC cable이 필요하지 않으므로, Cable에서의 전압강하나 전력손실이 없이 높은 신뢰성으로 장기간의 기후환경조건에 따른 PCS의 성능시험도 가능하다.

PV cell로 구성되는 PV array는 전압원과 전류원의 복합적인 특성을 갖는다. 즉, I_{sc} 동작점 부근에서는 전류원의 형태로 동작하고, V_{oc} 의 동작점 부근에서는 전압원의 형태로 동작한다. 또한 MPP 운전점에서는 전류원도 아니고 전압원도 아닌 중간적인 동작 특성을 갖는다. PV Simulator의 입장에서 전류원과 전압원의 두 가지 모드를 종합적으로 구현하기 위하여 중간운전영역에서 제어적인 어려움이 존재한다. 본 논문에서는 PV Simulator의 출력을 전압원형 및 전류원형으로 구현하는 제어시스템에 대하여 특성을 비교 연구하였다^[1].

2. PV Simulator의 동작 특성

2.1 제어 블록도

그림 1은 본 논문에서 제시한 두 가지 유형의 PV Simulator 제어시스템의 개념을 보인다. 그림 1 a)는 부하 측 출력 전류를 검출하여 기 설정된 PV cell model의 I-V 특성곡선에 의거하여 기준전압(V_{ref})을 제어목표로 한다. 그림 1 b)는 출력 측

커패시터 양단 전압(V_c)을 검출하여 기 설정된 PV cell model의 I-V 특성곡선에 의거하는 기준전류(I_{ref})를 목표로 제어한다.

전류원형 PV Simulator는 실제로는 필터인덕터 전류(I_L)를 제어한다. 필터커패시터로는 교류성분 전류만 흐르므로 필터인덕터의 직류성분전류의 제어를 통하여 출력전류(I_o)를 효과적으로 제어할 수 있고, 동시에 필터 인덕터 전류(I_L)를 댐핑제어함으로써 LC 필터에서 발생하는 공진을 억제시킬 수 있다^[2].

표 1은 본 논문에서 개발하고자 하는 PV Simulator의 사양이다.

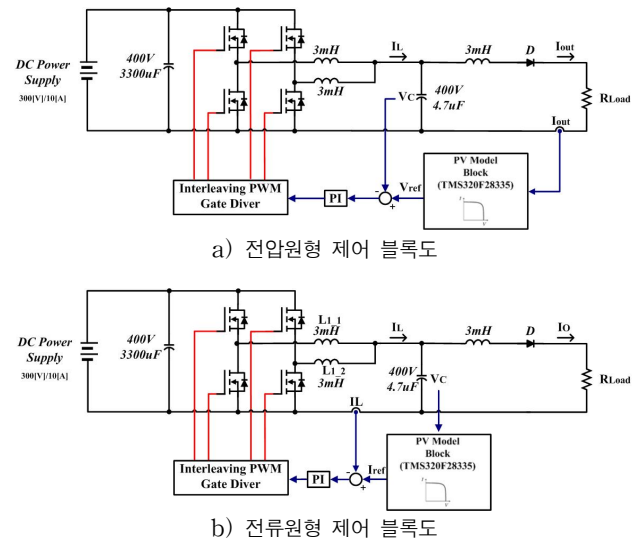


그림 1. 제안하는 PV simulator의 제어개념

표 1 PV Simulator 사양

항 목		사 양
Power		3[kW]
Input Source	Voltage	180[Vac](3 Phase)
	Current	16.6[A](@180Vac)
Output	Voltage	0~300[V][정밀도: 0.2%]
	Current	0~10[A][정밀도: 0.5%]
2 Leg Buck Converter	Power	1[kW] * 3
	Voltage	0~300[Vdc]
	Current	0~3.3[A]

표 2 실험에 적용된 PV array 사양

항 목	Value
Maximum Power(P_{MPP})	614.09[W]
Voltage at Pmax (V_{MPP})	239.88[V]
Current at Pmax (I_{MPP})	2.56[A]
Short circuit current(I_{sc})	2.79[A]
Open circuit voltage(V_{oc})	300[V]

2.2 실험조건

표 2는 표 1의 사양을 토대로 태양광 효율 기준 규정인 IEC의 EN50530에 주어진 박막형 PV cell의 파라미터를 적용하여 구성한 PV array 사양이다.

Wagner는 PV cell의 단일 다이오드 등가회로 모델의 파라미터를 구하는 공식을 다음과 같이 제시하였다:^[3]

$$M = \frac{V_{oc}}{I_{sc}} \left(k_1 \frac{I_{mp} V_{mp}}{I_{sc} V_{oc}} + k_2 \frac{V_{mp}}{V_{oc}} + k_3 \frac{I_{mp}}{I_{sc}} + k_4 \right) \quad (1)$$

$$\text{단, } k = (-5.411 \quad 6.450 \quad 3.417 \quad -4.422)$$

$$R_{pv} = -M \frac{I_{sc}}{I_{mp}} + \frac{V_{mp}}{I_{mp}} \left(1 - \frac{I_{sc}}{I_{mp}} \right) \quad (2)$$

$$V_t = -(M + R_{pv}) I_{sc} \quad (3)$$

$$I_0 = I_{sc} e^{-\frac{V_{oc}}{V_t}} \quad (4)$$

표 2의 PV array 사양에 대하여 Wagner의 파라미터 공식을 적용하면 PV array 모델의 I V 특성식은 식 (5) 및 식 (6)과 같이 구해진다. 식 (5)는 전압원형 PV Simulator의 제어에 사용할 수 있고, 식 (6)은 전류원형 PV Simulator의 제어에 사용할 수 있다. 여기서 등가회로의 파라미터는 Wagner 공식에 의하여 $V_t=20.81351$, $R_{pv}=3.209$, $I_0=1.53 \cdot 10^{-6}$ 로 계산된다.

$$V_{ref} = V_t \ln \left(\frac{I_{ph} - i + I_0}{I_0} \right) - i R_{pv} \quad (5)$$

$$I_{ref} = I_{ph} - I_0 \left(\exp \left(\frac{V + I R_{pv}}{V_t} \right) - 1 \right) \quad (6)$$

I_{ph} : Current generated by the incident light

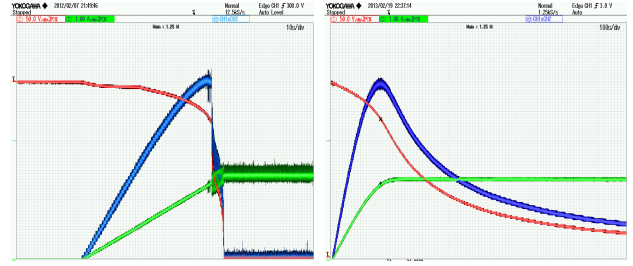
I_0 : Diode saturation current

R_{pv} : photovoltaic resistance

V_t : Ideal unit Cell thermal voltage

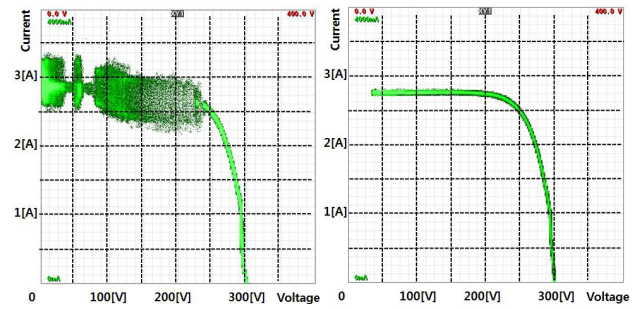
3. 실험결과

그림 2는 PV Simulator에 전자부하를 가하여 PV array 모델의 I V 특성곡선에 대응하는 PV Simulator의 정상상태 운전 특성을 실험한 결과이다. 그림 2 a)와 그림 2 b)는 각각 전압원형 및 전류원형 PV Simulator의 실험파형으로 출력 전류의 증가에 따른 출력전압 및 전력의 출력파형을 나타낸다. 그림 3은 그림 2의 전압 전류 자료를 근거로 X Y 그래프로 출력한 PV Simulator의 I V 특성곡선을 보인다. 전류원형 PV Simulator의 출력 전류 및 전압은 PV array 모델의 I V 특성곡선을 잘 추종하는 반면, 전압원형 PV Simulator의 경우 출력 전류가 0부터 I_{MPP} 부분까지는 잘 추종하지만 I_{MPP} 이후부터 I_{sc} 부분까지는 불안정해진다. 이는 전압원형 PV Simulator의 경우 출력단 검출 전류의 작은 리플성분 오차에 대하여



a) 전압원형 PV Simulator의 실험 파형(V_{out} [50V/div], I_{out} [1A/div], Time[10s/div])
b) 전류원형 PV Simulator의 실험 파형(V_{out} [50V/div], I_{out} [1A/div], Time[100s/div])

그림 2. 전자부하기를 사용한 실험 파형



a) 전압원형 PV Simulator의 I-V 곡선
b) 전류원형 PV Simulator의 I-V 곡선

그림 3. PV Simulator의 제어 방식에 따른 I-V 특성

PV array 모델의 I V 곡선에서 주어지는 출력 전압 기준 값 (V_{ref})이 심하게 변하기 때문인 것으로 분석된다.

4. 결론

본 논문에서는 전압원형 PV Simulator의 제어 알고리즘과 전류원형 PV Simulator의 제어 알고리즘에 대하여 출력특성을 분석하였다. 전압원형 제어 알고리즘의 경우 출력전류가 I_{MPP} 를 넘어 서면서부터 출력 전압이 PV array model의 I V 특성곡선을 정확히 추종하지 못하고 불안정해 지는 반면에, 전류원형 PV Simulator의 경우 PV array model의 I V 특성곡선을 전반적으로 잘 추종하는 것을 확인 하였다. 또한 전류원형 PV simulator는 병렬운전이 용이하여 다중 MPP를 갖는 PV array의 동작 구현이 가능하다는 장점이 있다.

이 논문은 카코뉴에너지의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] IEC EN50530 Standard for Overall efficiency of photovoltaic inverters, CENELEC, Stassart 35, B 1050 Brussels.
- [2] 이성민, 유태식, 김효성, "스위칭방식 PV Simulator의 전력 회로와 LCL필터 설계", 전력전자학회논문지, 2012, 10, pp. 431-437.
- [3] C.Bendel and A.Wagner "Photovoltaic measurement relevant to the energy yield" in Proc. WCPEC 3 World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, 11-18 May 2003, Pr.No 7P-B3-09, pp 1-4.