

개별 MPPT 제어가 가능한 단상 DC-버스 분산형 인버터

신호준, 하정익

서울대학교 전기·정보공학부

Single-phase Split DC-bus Inverter for Individual MPPTs

Hojoon Shin and Jung-Ik Ha

Department of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University

Abstract

본 논문에서는 개별적인 MPPT 제어가 가능한 단상 DC-버스 분산형 인버터의 구조 및 제어 방식에 대해 소개한다. 본 인버터는 H-브릿지 인버터에서 직류단이 분리된 형태이며, 다수의 태양광 패널의 MPPT 제어가 가능하다. 본 논문에서는 제안된 인버터의 계통 발전 방식과 함께 각 태양광 패널의 전력 분배 제어에 대해 논의하며, 모의실험을 통해 제안된 방식의 성능을 확인한다.

1. 서론

PV PCS(Photovoltaic Power Conditioning system)를 평가하는 여러 항목 중, 패널의 최대 전력점 추종(Maximum Power Point Tracking: MPPT)은 태양광 시스템에 있어 매우 중요한 요소이다. [1] 이는 발전 시간에 제약이 있는 PV PCS를 효율적으로 운영할 수 있게 해주기에, 시스템의 설치단계 대비 발전량을 증대시킨다. 따라서 일반적으로 PV PCS에 다수의 패널이 어레이(array) 형태로 연결됨을 감안했을 때, 시스템 가격 대비 최대한 많은 어레이의 MPPT가 가능할수록 그 효율성은 높아진다.

여러 PV PCS 중, 1단 구성(Single-stage) 시스템은 하나의 DC/AC 인버터를 통해 계통 발전을 하기에 가격적인 면에서 장점을 가진다. 하지만 전체 태양광 어레이를 한 전압에서만 제어할 수 있기 때문에 각 어레이의 MPPT 제어에 비해 상대적 전력 손실이 생길 수 있다. DC/DC 컨버터 및 DC/AC 컨버터로 이루어진 2단 구성(Two-stage) 시스템은 각 어레이에 DC/DC 컨버터가 연결되어 개별적 MPPT가 가능하다. 하지만 이 구조는 다수의 능동 및 수동 소자 사용으로 인해 가격 경쟁력이 떨어지고, 2단 구조로 인해 시스템 효율이 낮아진다. [2]

본 논문에서는 간단한 1단 구조에서 다수의 태양광 어레이를 제어할 수 있는 단상 DC-버스 분산형 인버터를 소개한다. 본 인버터는 저가격 및 소형화 구현과 함께 다수의 태양광 어레이 MPPT가 가능하다. 본 인버터의 구조 및 제어 방식을 소개하며, 기존 방식과의 비교를 통해 효율성을 확인한다.

2. 본론

2.1 단상 DC-버스 분산형 인버터

단상 DC-버스 분산형 인버터의 구조는 그림 1과 같다. 본 인버터는 단상 H-브릿지 인버터에서 직류단(DC-Link)이 분리된 구조이며, 앞서 언급했듯이 태양광 어레이의 전압이 분리되기 때문에 개별적인 MPPT가 가능하다. 그림 1(a) 및 (b)는 각각 2-레벨과 3-레벨 DC-버스 분산형

인버터 중 두 직류단의 중성단이 연결된 토폴로지이며, 하단을 통한 연결된 동일 하단(Common-Bottom) 타입도 가능하다. [3]

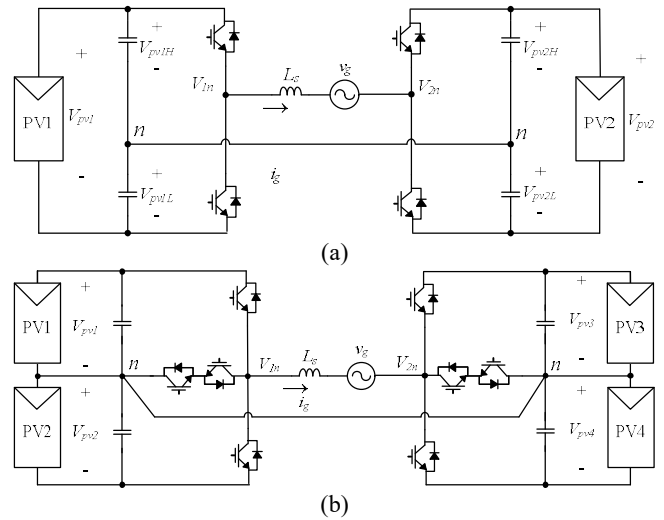


그림 1 단상 DC-버스 분산형 인버터: (a) 2-레벨 동일 중성단 타입. (b) 3-레벨 동일 중성단 타입

Fig. 1 Single-phase Split DC-bus Inverters: (a) 2-level Common-Neutral Type. (b) 3-level Common-Neutral Type

본 인버터는 2n개의 스위치로 n개의 태양광 어레이 MPPT가 가능하기에 구조 대비 발전 용량에서 큰 장점을 갖는다. 직류단 전해 캐패시터의 경우 개수가 조금 증가한다는 단점이 있지만, 단상 계통 연계형 시스템에서는 필수적이므로 신뢰성 및 수명 측면에서는 기존과 동일하다. 2단 구조 PV-PCS와 비교했을 때 동일한 MPPT 제어 개수 대비 스위치와 인덕터 개수를 줄일 수 있으며, 가격뿐만 아니라 전체 시스템 무게 및 사이즈에서 장점을 가질 수 있다. 단, 1단 구조 및 DC-버스 분산형 인버터는 직류단 전압이 곧 태양광 패널 전압이 되기에 단상 계통의 2고조파 전력으로 전압에 2고조파 성분이 포함된다. 기존 1단 및 2단 구조 PV-PCS와의 구성 비교는 표 1과 같다.

표 1 단상 태양광 발전 시스템과의 비교

Table 1 Comparison with Single-phase PV generating system

	Single stage H-Bridge		Two-stage (DC/DC+DC/AC)		Split DC-bus	
	2Lv	3Lv	2 Convs.	4 Convs.	2Lv	3Lv
Switch	4	8	6SW+2D	8SW+4D	4	8
Capacitor	1	2	1	1	4(2*)	4
Inductor	1	1	3	5	1	1
MPPTs	1	2	2	4	2	4

* 동일 하단 타입에서는 Capacitor가 두 개 사용

2.2 개별적 MPPT를 위한 직류단 전압 제어

본 절에서는 DC-버스 분산형 인버터의 개별적인 MPPT를 위한 제어를 소개한다. MPPT를 위해서는 태양광 전압, 즉 직류단 전압을 원하는 값으로 조절할 수 있어야 한다. 인버터의 출력 전압 지령 V_{12}^* 은 각 레그(leg) 지령 전압 V_{1n}^* 과 V_{2n}^* 의 차이와 같으며, 좌우 측 평균 전력을 P_1, P_2 라고 했을 때 식 (1)과 같이 전력 비에 따라 전압을 결정할 수 있다.

$$\begin{aligned} v_{1n}^* &= v_{12}^* \cdot \frac{P_1}{P_g} + v_o \\ v_{2n}^* &= -v_{12}^* \cdot \frac{P_2}{P_g} + v_o \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 P_g 는 계통 전력으로 P_1 과 P_2 의 합이고, v_o 는 옵셋 전압으로 2-레벨 동일 중성단 타입에서는 '0'이다. 따라서 DC-버스 분산형 인버터에서 좌우 전력 분배 및 전압 제어기는 그림 2와 같이 구성된다. 여기서 전압 제어기(VC)의 출력은 캐패시터 전력 지령과 태양광 패널 최대 전력점 지령(P_{pv}^*)의 합이다.

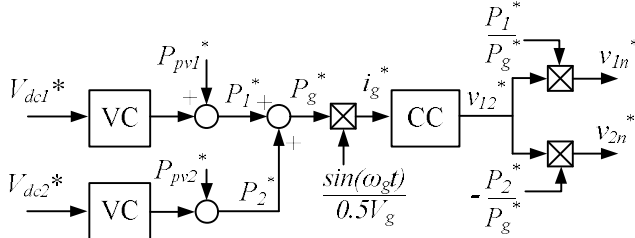


그림.2 시스템 전체 전력 제어 블록도
Fig. 2 System power control block diagram

3-레벨 시스템의 경우, 좌우 전압 제어뿐만 아니라 각 레그에서의 상하 전압 또한 제어할 수 있어야 태양광 어레이들의 개별적인 MPPT가 가능하다. 이는 그림 3과 같이 한 레그에서 스위칭 방식을 3-레벨에서 2-레벨로 변경하는 것으로 조절이 가능하다. 3-레벨 스위칭 시에는 한 주기 내에 한 개의 PV만이 계통으로 전력을 전달하지만, 2-레벨 스위칭 시에는 두 PV가 모두 사용되므로, 2-레벨 전환 시간을 통해 두 PV간의 전압을 조절할 수 있다. 결과적으로 앞서 언급한 전체 직류단 제어기 및 두 PV간 전압 차이 제어를 통해 각각 원하는 전압으로 제어가 가능하다.

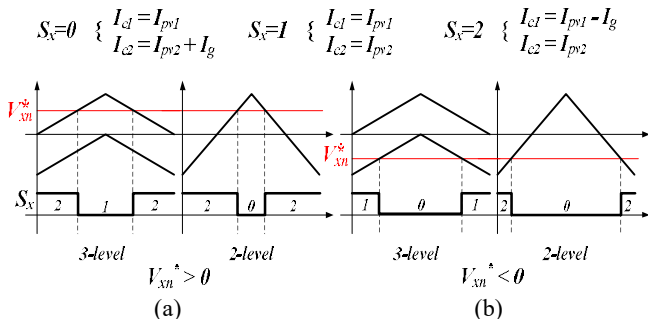


그림.3 2-레벨 & 3-레벨에서의 스위칭 패턴: (a) 양의 전압 지령일 경우. (b) 음의 전압 지령일 경우.
Fig. 3 2-level & 3-level switching patterns, (a) at positive voltage reference. (b) at negative voltage reference.

2.3 모의 실험

모의실험에서는 각 700W짜리 태양광 패널을 사용했고, 일사량 변화에 따라 V_{mpp} 와 전력이 변할 때를 모의했다.

그림 4는 2-레벨 DC-버스 분산형 인버터의 모의실험 결과이며, PV2의 전압 및 전력이 각각 10V, 100W씩 감소되었을 때이다. 그림 5는 3-레벨의 모의실험 결과이며, PV2와 PV3의 온도 및 일사량이 감소되었을 때로 가정했다. 두 경우 모두 각 PV마다 MPPT가 잘 수행됨을 확인할 수 있다.

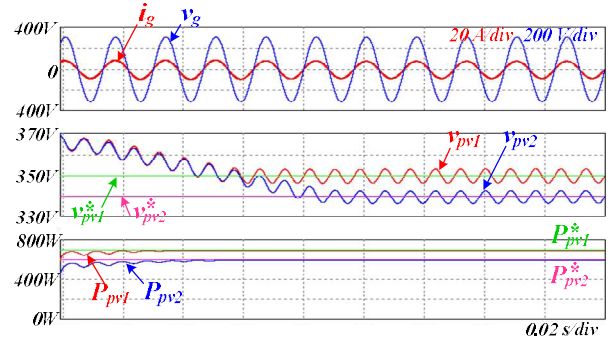


그림.4 2-레벨 DC-버스 분산형 인버터 모의 실험 결과
Fig. 4 Simulation results of 2-level split DC-bus inverter

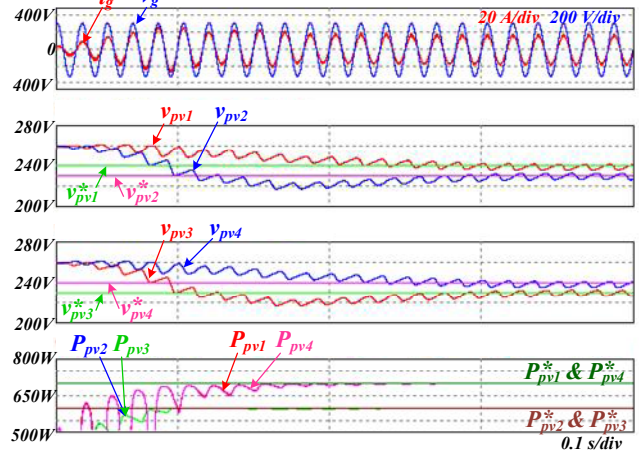


그림.5 3-레벨 DC-버스 분산형 인버터 모의 실험 결과
Fig. 5 Simulation results of 3-level split DC-bus inverter

3. 결론

본 논문에서는 단상 계통 발전형 DC-버스 분산형 인버터에 대해 알아보았다. 본 인버터는 2n개의 스위치 개수로 n개 태양광 어레이의 MPPT를 제어할 수 있으며, 하나의 필터 인덕터만을 사용하기에 가격 및 효율에서 큰 장점이 있다. 모의 실험에서는 각 PV 전압을 원하는 지령을 제어 가능함으로써 연결된 모든 PV의 MPPT가 가능함을 확인했다.

참고문헌

- [1] W. Libo, Z. Zhengming, and L. Jianzheng, "A single-stage three-phase grid-connected photovoltaic system with modified MPPT method and reactive power compensation," *IEEE Trans. Energy Convers.* vol 22, no. 2, pp. 881-886, Dec. 2007.
- [2] B. N. Alajmi, K. H. Ahmed, G. P. Adam, and B. W. Williams, "Single-phase single-stage transformerless grid-connected PV system," *IEEE Trans. Power Electron.* vol 28, no. 6, pp. 2664-2676, Jun. 2013.
- [3] W. -J. Lee and J. -I. Ha, "Individual MPPTs of Dual Photovoltaic Arrays Using Single-phase Split-dc Bus Inverter," *Applied Power Electronics Conference and Exposition(APEC)*, 2013, pp. 116- 121, Mar. 2013.