

SiC 기반 계통연계형 태양광 인버터의 MPPT 최적 제어기법

이재호, 장푸름, 양형규, 박상민, 노용수, 최준혁
한국전자기술연구원 전력제어시스템 연구센터

Optimal MPPT Control Method for SiC-Based Grid-Connected Photovoltaic PCS

Jae-Ho Lee, Poo Reum Jang, Hyoung-Kyu Yang, Sang Min Park, Yong-su Noh, Jun-Hyuk Choi
Korea Electronics Technology Institute (KETI)

ABSTRACT

계통연계형 태양광 인버터는 PV Array의 일사량과 온도에 따른 최대전력이 다르기 때문에, 최대전력점을 추종하는 Maximum Power Point Tracking (MPPT) 제어가 필요하다. 본 논문에서는 낮은 일사량 조건에서도 최대전력점을 빠르게 추종하고, 구성이 단순한 P&O 기반의 최적화된 제어기법을 제안한다. 제안하는 기법의 타당성은 25 kW급 SiC 기반 계통연계형 태양광 인버터의 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증한다.

1. 서론

화석연료의 사용량이 급증함에 따라 온실효과가 심화되어 탄소중립을 실현하기 위해 최근 신재생 에너지를 활용한 계통연계형 태양광 인버터의 수요가 늘어나고 있다. 계통연계형 태양광 인버터 내 각 전력반도체 스위치의 Pulse-Width Modulation (PWM)을 제어하기 위해서는 인버터의 입력단에 접속된 Photovoltaic (PV) Array의 전기적 특성이 반영되어야 한다. PV Array는 일사량과 온도 조건의 변화에 따라 전류-전압 및 전력-전압 특성이 비선형적으로 변하는 경향성을 가진다. 즉, 외부 조건의 변화에 따라 PV Array의 최대전력점이 변함으로, 계통연계형 태양광 인버터는 Maximum Power Point Tracking (MPPT) 제어를 통해 PV Array의 최대전력점을 능동적으로 추종할 수 있도록 운용되어야 한다. 가장 많이 알려진 MPPT 방식으로는 Perturbation & Observation (P&O) 방식 및 Incremental Conductance (IncCond) 방식이 있다^{[1][2]}. P&O 방식은 PV Array의 출력전압을 주기적으로 증가 혹은 감소해 현재와 이전의 출력전력을 서로 비교하여 최대전력점을 연속해서 추종하는 방식으로, 제어 방식이 간단하고, 일사량의 변화가 적은 상황에서 안정적으로 최대전력점을 추종하는 이점을 가진다. 하지만, 최대전력점에 도달한 이후 일사량의 변화가 적은 상황에서는 전압이 진동하게 돼 PV Array에서 손실이 발생하게 되는 단점을 가진다. 이러한 손실을 줄이는 방법으론 PV Array의 출력전압 레퍼런스 크기를 줄이는 방법이 있으나 일사량이 급변할 시 최대전력점을 추종하는 시간이 늘어나는 단점이 존재한다.

따라서, 본 논문에서는 MPPT 제어 방식중 하나인 P&O 기반의 최적화된 제어기법을 제안한다. 그리고, 제안하는 기법의 타당성은 25 kW급 SiC 기반의 계통연계형 태양광 인버터의 PSIM 시뮬레이션을 통해 검증한다.^[1]

2. 제안하는 MPPT 최적 제어기법

그림 1은 계통연계형 태양광 인버터를 통해 PV Array에서 얻은 전력을 계통으로 전달하기 위한 계통도를 나타낸다. 계통연계형 태양광 인버터는 Neutral Point Clamped (NPC) 토폴로지로 구성됐고, 각 파라미터는 표 1과 같다.

그림 2는 MPPT 제어 방식중 하나인 P&O 방식의 순서도를 나타낸다. PV Array의 현재 출력전력이 이전 주기의 출력전력보다 증가할 시 전압은 다음 주기동안 동일한 방향으로 일정하게 증가해 더 높은 전력점을 찾아가게 되고, 반대의 경우에는 일정하게 감소한다. P&O 방식은 최대전력점에 도달한 후 일사량의 변동이 적은 환경에서 진동하는 단점을 가진다. 손실을 낮추기 위한 기존의 방법으론 출력전압 레퍼런스의 크기를 줄이는 방법이 있으나 최대전력점을 추종하는 시간이 늦어지는 문제점을 가지고 있기 때문에, 본 논문에서는 P&O 기반의 최적화된 제어기법을 제안한다.

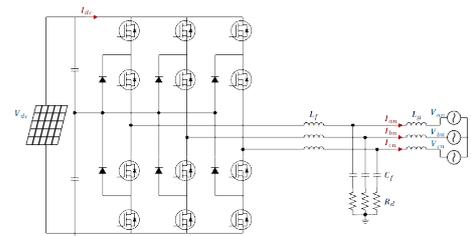


그림 1 계통연계형 태양광 인버터 계통도
Fig. 1 Configuration of grid-connected PV inverter.

표 1 25 kW급 인버터 설계사양
Table 1 25 kW grid-connected PV inverter specification.

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage	V_{in}	850 - 1200	V _{dc}
Nominal Voltage	V_{nom}	1000	V _{dc}
Output Power	P_{out}	25	kW
Line-to-Line Voltage	V_{LL}	380	V _{rms}
Output Current	I_{out}	24	A _{rms}
Switching Frequency	f_{SW}	40	kHz
Filter Inductance	L_f	450	μ H
Filter Capacitance	C_f	10	μ F
Grid Inductance	L_g	115	μ H
Damping Resistance	R_d	0.33	Ω

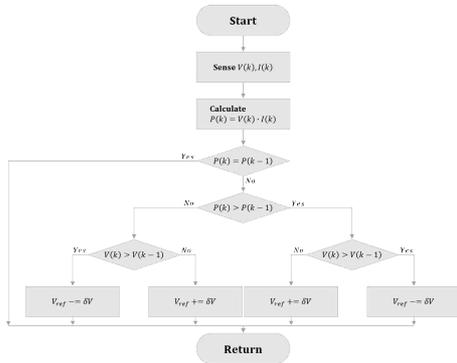


그림 2 기존 P&O 방식
Fig. 2 Conventional P&O algorithm.

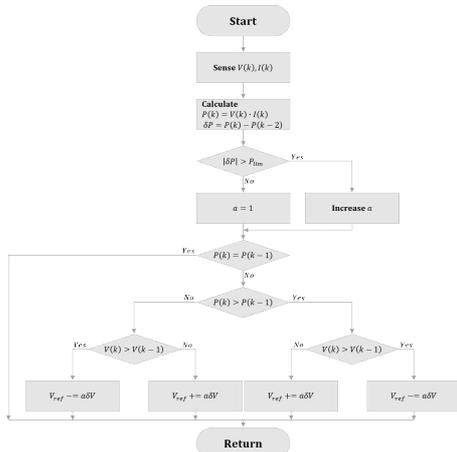
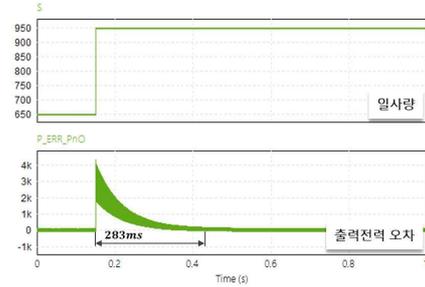


그림 3 제안하는 P&O 기반 제어기법
Fig. 3 Proposed P&O-based algorithm.

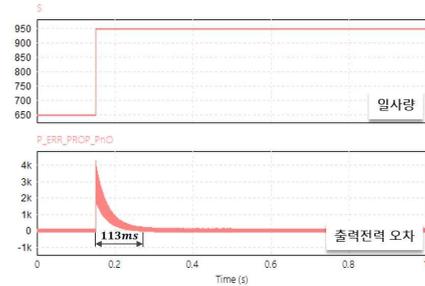
그림 3은 제안하는 최적화된 제어기법의 순서도를 나타낸다. 기존의 P&O 방식은 일사량의 변화에 상관없이 PV Array의 출력전압 레퍼런스 크기가 일정하였으나, 제안하는 최적화된 제어기법은 현재의 출력전력과 이전 주기의 출력전력을 서로 비교해 출력전압 레퍼런스의 크기를 가변한다. 즉, PV Array의 현재 출력전력 $P(k)$ 와 이전 주기의 출력전력 $P(k-2)$ 를 감산해 절댓값의 크기가 일정 전력 P_{lim} 이상일 경우 일사량의 변화가 발생했음을 판단하여 a 의 크기를 증분시켜 출력전압 레퍼런스에 곱해주어 크기를 변경한다. 그리고, 절댓값의 크기가 일정 전력 P_{lim} 보다 낮을 경우에는 a 를 1로 초기화해 기존 출력전력 레퍼런스의 크기로 변경함에 따라 일사량이 급변하는 환경에서 최대전력점을 추종하는 시간을 단축시킬 수 있다.

3. 시뮬레이션 결과

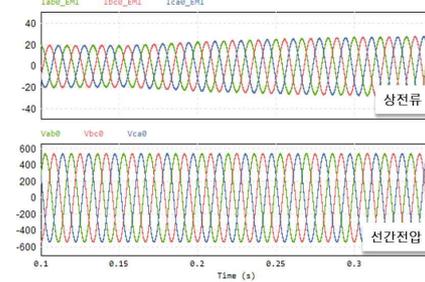
그림 4는 기존 P&O 방식을 적용했을 때와, 제안하는 최적화된 P&O 방식을 적용했을 때, 일사량의 변화에 따른 PV Array의 최대전력점과 현재 출력전력의 오차를 나타낸다. 일사량이 30%정도 변화했을 때 P&O 방식을 적용했을 때는 최대전력점을 추종하는 시간이 283ms인 반면, 제안하는 P&O 기반의 최적화된 제어기법을 적용했을 때는 113ms로, 기존 방식 대비 제안하는 제어기법이 일사량 급변에 따라 더 빠르게 최대전력점을 추종할 수 있음을 확인할 수 있다. 또한, 최대전력점 추종 제어에 따른 상전류 제어가 잘 진행됨을 알 수 있다.



(a) 기존 P&O 방식



(b) 제안하는 제어기법



(c) 제안하는 제어기법을 적용한 상전류 제어

그림 4 시뮬레이션 결과 파형
Fig. 4 Simulation results.

4. 결 론

본 논문에서는 계통연계형 태양광 인버터를 제어하기 위해 PV Array의 특성에 따른 P&O 기반의 최적화된 제어기법을 제안했다. PSIM 시뮬레이션을 활용하여 제안하는 제어기법은 기존 P&O 방식 대비 39.93%정도 더 빠르게 최대전력점을 추종함에 따라 제어기법의 타당성을 입증하였다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 산업기술기획평가원(KEIT)의 지원을 받아 수행한 연구 과제임. (No. 2024898)

참 고 문 헌

- [1] P. Huynh and B. H. Cho, "Design and analysis of a microprocessor-controlled peak-power-tracking system [for solar cell arrays]," in IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 32, no. 1, pp. 182-190, Jan. 1996.
- [2] O. Waszynczuk, "Dynamic Behavior of a Class of Photovoltaic Power Systems," in IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-102, no. 9, pp. 3031-3037, Sept. 1983.