

# 태양광 시스템을 위한 가변 조정계수 기반의 적응형 MPPT 제어 기법

이귀준\*, 현동석\*, 김래영\*, 임춘호\*\*, 김우철\*\*  
 \*한양대학교 \*\*LG 유플러스

## An Adaptive Maximum Power Point Tracking Scheme Based on a Variable Scaling Factor for Photovoltaic Systems

Kui Jun Lee\*, Dong Seok Hyun\*, Rae Young Kim\*, Chun Ho Lim\*\*, and Woo Chull Kim\*\*  
 \*Hanyang University \*\*LG Uplus

### ABSTRACT

본 논문은 가변 조정계수를 이용한 적응형 MPPT 제어 기법을 제안한다. MPPT 제어 루프가 소신호 모델링을 통해 구성되며, PV array의 동작점에 상관없이 MPPT 제어의 성능을 일정하게 유지하기 위한 가변 조정계수가 결정된다. 가변 조정계수는 오차에 대한 근사화된 곡선맞춤 다항식을 통해 결정되며, 이를 통해 사용자가 원하는 MPPT의 동특성과 안정성을 전 MPPT 영역에 걸쳐 확보할 수 있다. 제안된 MPPT 기법의 타당성은 3KW 급 시스템에 대한 실험을 통해 검증한다.

### 1. 서론

태양광 인버터 시스템에서 MPPT 제어는 PV array로부터 최대전력을 얻기 위해 사용된다. 하지만 MPPT 성능은 기준전압을 갱신하는 스텝 크기에 의해 크게 좌우되며, 고정 스텝 크기는 정상상태 진동과 과도성능 사이의 상충관계를 야기한다. 따라서 가변 스텝 크기를 특징으로 하는 적응형 MPPT 기법들이 연구되고 있으며, 이러한 적응형 MPPT 기법들은 적절한 조정계수 선정이 요구하는데, 이는 MPPT 성능과 안정성을 결정하는 중요한 요소이다. 이를 위해, 조정계수를 선정하는 간단한 지침이 제안되었으며<sup>[1]</sup>, 만족스러운 과도응답과 안정성을 확보하기 위해 주파수 영역에서 조정계수와 MPPT 제어 주기가 이론적으로 설계되었다<sup>[2]</sup>. 하지만 이러한 고정 조정계수는 최대전력점과 같은 임의의 동작점에서 설계되기 때문에, MPPT 전압의 전 영역에서 만족스러운 성능을 갖지 못한다. 즉, 외부 환경조건의 변화에 의해 예상 동작점을 벗어나면, PV array의 동특성이 변하고, 이는 MPPT 제어기의 관점에서 제어 대상의 동특성이 가변됨을 의미한다.

따라서, 본 논문에서는 가변 조정계수를 이용한 새로운 적응형 MPPT 기법을 제안한다. MPPT 기법에 대한 소신호 모델과 오차에 대한 선형화된 식에 곡선맞춤 기법을 적용하여 가변 조정계수를 해석적으로 설계한다. 이를 통해, 외부 환경조건에 의한 PV array의 동작점 변화에 상관없이 동등한 MPPT 성능을 유지하게 된다. 제안된 MPPT 기법의 유효성은 3KW 급 태양광 인버터 시스템에 대한 실험을 통해 검증한다.

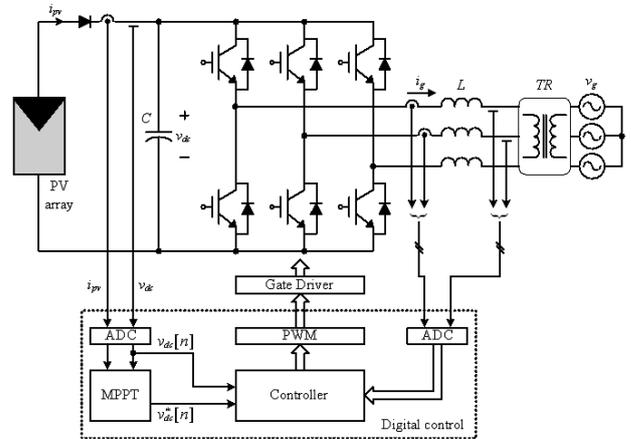


그림 1 계통연계형 태양광 인버터 시스템  
 Fig. 1 Three-phase grid connected inverter with an LCL filter

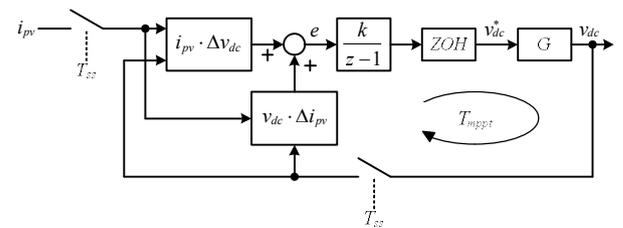


그림 2 MPPT 제어 블록도  
 Fig. 2 Block diagram of the MPPT control loop

### 2. 제안된 적응형 MPPT 기법

그림 1에서 PV array의 출력은 식 (1)로 주어지며, 이를 전압에 대해 미분하면 식 (2)가 되고, 오차를 식 (3)처럼 표현할 수 있다.

$$p = v_{dc} i_{pv} \quad (1)$$

$$\frac{dp}{dv_{dc}} = i_{pv} + v_{dc} \frac{di_{pv}}{dv_{dc}} \quad (2)$$

$$e = i_{pv} \cdot \Delta v_{dc} + v_{dc} \cdot \Delta i_{pv} \quad (3)$$

식 (3)을 이용하여 MPPT 제어루프를 그림 2와 같이 구성할 수 있다. 여기서  $G$ 는 전압응답을 나타내는

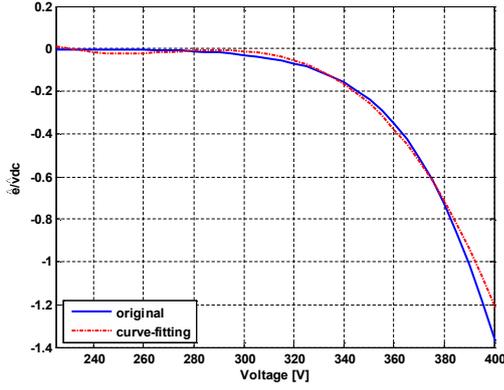


그림 3 원래  $\hat{e}/\hat{v}_{dc}$  와 곡선맞춤 결과값

Fig. 3 Original  $\hat{e}/\hat{v}_{dc}$  and curve-fitted values

표 1 시스템 사양

Table 1 System Specifications

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| 인버터 출력 파워 ( $P_n$ ) | 3 kW         |
| 계통 선간전압 ( $v_g$ )   | 220 Vrms     |
| 계통 주파수              | 60 Hz        |
| 변압기                 | 220:140      |
| 필터 인덕터 ( $L$ )      | 4 mH         |
| DC 링크 커패시터 ( $C$ )  | 1100 $\mu$ H |
| 샘플링 주파수             | 16 kHz       |
| 스위칭 주파수             | 8 kHz        |
| MPPT 전압 범위          | 225 ~ 400 V  |

플랜트 모델이며,  $T_{SS}$  는 MPPT 제어주기,  $T_{mppt}$  는 루프이득,  $k$  는 가변 조정계수를 나타낸다.  $T_{mppt}$  를 구하기 위해서는  $v_{dc}$  와  $e$  의 선형화된 관계가 요구된다.

PV array 의 전압, 전류 관계식 (4) 와 식 (3) 를 이용하면 오차는 식 (5) 와 같이 정리되며, 테일러 전개를 적용하고 미소변동을 인가하면 식 (6) 의 소신호 모델을 얻는다.

$$i_{pv} = I_{pv} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{v_{dc} + R_s i_{pv}}{V_t a}\right) - 1 \right] - \frac{v_{dc} + R_s i_{pv}}{R_p} \quad (4)$$

$$e = i_{pv} \left( 1 + \left( x + \frac{1}{R_p} \right) R_s \right) - v_{dc} \left( x + \frac{1}{R_p} \right), \quad x = \frac{I_0}{V_t a} \exp\left(\frac{v_{dc} + R_s i_{pv}}{V_t a}\right) \quad (5)$$

$$\frac{\hat{e}}{\hat{v}_{dc}} = \left[ i_{pv} \cdot x \frac{R_s}{V_t a} - \left( \left( x + \frac{1}{R_p} \right) + v_{dc} \cdot x \frac{1}{V_t a} \right) \right]_{i_{pv}=I_{pv}, v_{dc}=V_{dc}} \quad (6)$$

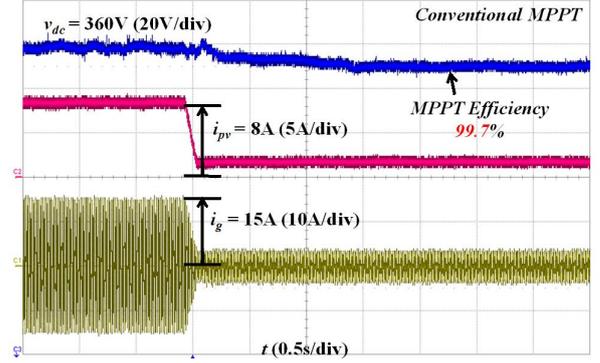
가변 조정계수  $k$  는 식 (6) 과 곡선맞춤 기법에 의해 얻어진 다항식 (7) 를 이용하여 식 (8) 로부터 계산될 수 있다. 여기서  $\alpha$  는 MPPT 의 성능을 결정하는 사용자 정의 상수이며, 그림 3 은 식 (6) 에 대한 곡선맞춤 다항식 결과를 보여준다.

$$y = c_1 v_{dc}^3 + c_2 v_{dc}^2 + c_3 v_{dc} + c_4$$

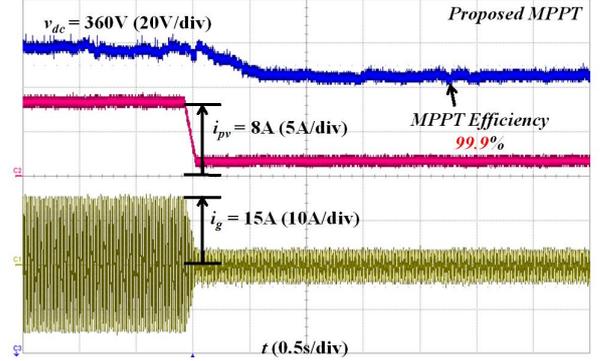
$$c_1 = -5.8784 \times 10^{-7}, c_2 = 4.7743 \times 10^{-4}, \quad (7)$$

$$c_3 = -1.2863 \times 10^{-1}, c_4 = 11.48$$

$$k = \frac{\alpha}{y} \quad (8)$$



(a) 고정 조정계수



(b) 가변 조정계수

그림 4 실험 파형

Fig. 4 Experimental waveforms

### 3. 실험결과

실험에 사용된 시스템 사양은 표 1과 같고, PV 시뮬레이터를 이용하여 검증하였다. 그림 4 는 일사량이  $1000\text{W}/\text{m}^2$  에서  $200\text{W}/\text{m}^2$  로 감소할 경우 MPPT 성능을 비교 분석한 것으로서, 일사량  $200\text{W}/\text{m}^2$  에서 그림 4(a) 의 고정 조정계수를 이용한 기존 방법보다 그림 4(b) 의 가변 조정계수를 이용한 제안된 방법이 MPPT 효율 약 0.2% 가 개선됨을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 가변 조정계수 기반의 적응형 MPPT 기법을 제안하였다. 제안된 방법은 MPPT 전압 전 영역에서 동등한 MPPT 성능을 유지하며, 실험을 통해 기존의 고정 조정계수 방식에 비해 저 일사량에서 MPPT 효율 약 0.2% 가 개선됨을 확인하였다.

이 논문은 LG 유플러스의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

### 참고 문헌

- [1] F. Liu, B. Liu, and Y. Kang, "A variable step size INC MPPT method for PV systems," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 55, no. 7, pp. 2622–2628, Jul. 2008.
- [2] R. Y. Kim, J. S. Lai, B. York, and A. Koran, "Analysis and design of maximum power point tracking scheme for thermoelectric battery energy storage system," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 56, no. 9, pp. 3709–3716, Sep. 2009.