

단일전류센서를 이용한 태양광 최대전력추종 및 배터리 충전과 모터 제어기법

김승민*, 최익*, 최주엽*, 이상철**, 이동하**
*광운대학교, **대구경북과학기술원

PV MPPT with Battery Charger & Inductive Load Using Single Current Sensor

Kim, Seung Min*, Choy, Ick*, Choi, Ju Yeop*, Lee, Sang Cheol**, Lee, Dong Ha**

*Kwangwoon University(seungmin@kw.ac.kr), **Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology

ABSTRACT

태양광 발전설비에서 태양광 셀의 출력전력을 최대로 부하에 전달하기 위해 태양광 최대전력추종제어를 한다. 일반적인 태양광 최대전력 추종제어는 태양광 셀의 전압과 전류의 곱인 전력값을 비교하여 최대전력추종제어를 한다.

본 논문에서는 MPPT 컨버터의 출력 파라미터 중 전류만을 센싱하여 태양광 최대전력추종제어를 한다. 또한 태양광 최대전력추종제어를 통해 최대 출력으로 배터리를 충전하고 허용전류를 초과했을 때에는 전류제어로 충전하도록 설계한다. 이를 통해 Solar Car등과 같은 모터 부하에 적용해 보고자 한다.

1. 서론

태양광 시스템에서 태양광 셀은 온도와 일사량에 따라 태양광 셀의 단락전류와 개방전압의 특성이 변화하게 되며 태양광 셀의 전력 활용의 효율을 극대화할 수 있도록 하기 위해 태양광 최대전력추종제어를 하게 된다.

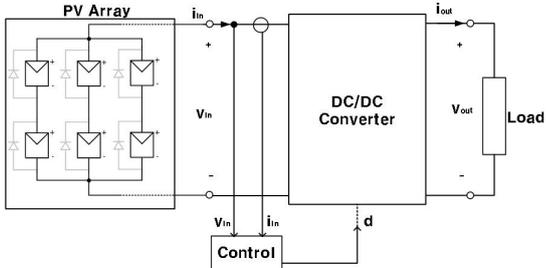


Figure 1. Conventional MPPT technique using $I_{in} V_{in}$

기존 태양광 최대전력추종제어는 태양광 셀의 출력전류와 전압을 통해 전력을 계산하여 출력 전력값을 비교하며 최대값을 추종하도록 제어된다. 이는 태양광 셀의 출력 전류와 전압을 센싱하여야 하고 컨버터가 MPPT 제어만을 하므로 부하로 나가는 출력은 제어할 수 없어 추가적인 장치가 필요하다.

본 논문은 MPPT 컨버터의 출력전류만을 이용하여 MPPT 제어를 하므로 센서의 개수를 줄일 수 있으며 부하로 나가는 출력을 제어할 수 있어 추가적인 장치없이 태양광 배터리 충전기나 DC모터의 구동이 용이하다.

2. 컨버터 모델링 및 최대전력추종제어

2.1 컨버터의 dc변압기 모델을 이용한 MPPT 해석

제안하는 컨버터의 출력 파라미터를 이용한 제어를 수식적으로 검증하기 위해 MPPT 컨버터를 그림 2와 같이 dc변압기

회로로 모델링하였다.

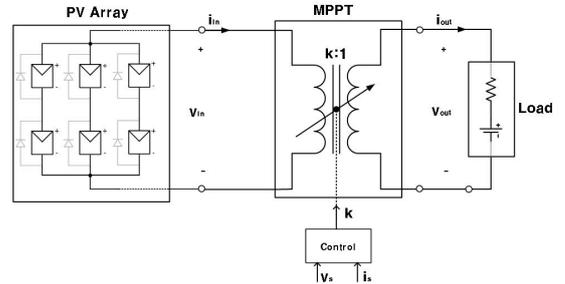


Figure 2. MPPT mathematical analysis by converter model
컨버터의 dc변압기 모델 특성식은 식 (1)과 같다.

$$\begin{bmatrix} v_{out} \\ v_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k^{-1} & 0 \\ 0 & k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{in} \\ i_{in} \end{bmatrix} \quad (1)$$

변압기의 변환비 k 는 컨버터를 동작시키는 듀티비 d 에 의해 제어된다. 그리고 태양광 MPPT 제어의 부하는 선형적인 특성을 가지므로 식 (2)와 같이 표현되고 변환비 k 에 의해 입력전압 식도 다음과 같이 결정된다.

$$v_{out} = E + i_{out}R, \quad v_{in} = kE + i_{in}k^2R \quad (2)$$

이로부터 컨버터의 입력전력은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$p_{in} = v_{in} \left(\frac{v_{in} - kE}{k^2R} \right) = \frac{v_{in}^2 - kE v_{in}}{k^2R} \quad (3)$$

위 식을 k 에 관한 식으로 정리하면 식 (4)와 같다.

$$k = \frac{\sqrt{4Rp_{in} + E^2} - E}{2Ri_{in}} \quad (4)$$

MPPT를 하는 컨버터의 입력전력은 컨버터의 출력전력과 등가적이므로 태양광 셀의 출력 력에 따른 컨버터의 출력전류와 전압의 변화는 식 (5), 식 (6)과 같다.

$$i_{out} = \frac{\sqrt{4Rp_{out} + E^2} - E}{2R} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} v_{out} &= i_{out}R + E \\ &= \frac{\sqrt{4Rp_{out} + E^2} + E}{2} \end{aligned} \quad (6)$$

컨버터의 출력전력이 증가함에 따라 i_{out} 과 v_{out} 도 선형적으로 증가하며 컨버터의 출력 전력의 최대값은 입력전력의 최대값(즉, 태양광 셀의 최대출력 값)과 등가적이므로 컨버터의 출력의 전류(또는 전압)값으로 MPPT를 할 수 있다.

두 개의 출력 파라미터 중 어떤 것을 선택하느냐에 따라 추종능력에 큰 차이를 보일 수 있으며, 이를 Sensitivity라 한다.

태양광 시스템의 부하는 일반적으로 식 (2)와 같은 전압원 특성을 가지므로 i_{out} 과 v_{out} 에 대한 각각의 Sensitivity를 비교하면 식(7)과 같이 전류를 통해 MPPT를 하는 것이 오차가 적다.

$$S_{v_{out}}^{p_{out}} = \frac{\partial p_{out}}{\partial v_{out}} \left(\frac{v_{out}}{p_{out}} \right) = \frac{E + 2Ri_{out}}{E + Ri_{out}},$$

$$S_{i_{out}}^{p_{out}} = \frac{\partial p_{out}}{\partial i_{out}} \left(\frac{i_{out}}{p_{out}} \right) = \frac{E + 2Ri_{out}}{Ri_{out}} \therefore S_{v_{out}}^{p_{out}} > S_{i_{out}}^{p_{out}} \quad (7)$$

2.2. 태양광 셀과 배터리 특성을 고려한 제어기 설계

태양광 셀의 출력 특성 곡선으로부터 동작점(V_{MPP} , I_{MPP})에서 선형화 시킬 수 있으며 이는 그림 3과 식 (8)과 같이 구해진다.

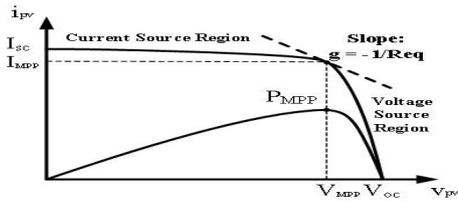


Figure 3. I-V characteristic curve of PV cell

$$i_{pv} = (-gV_{MPP} + I_{MPP}) + gv_{pv}$$

$$= g(v_{pv} - V_{MPP}) + I_{MPP} \quad (8)$$

where, $g = \left. \frac{\partial i_{pv}}{\partial v_{pv}} \right|_{(V,I)}$

태양광 셀의 출력 특성식으로부터 g 는 식 (9)와 같이 나타낼 수 있으며, 선형화된 모델은 전압원과 저항의 직렬회로로 구성된다. 이를 통해 태양광 셀과 배터리의 특성을 고려한 등가회로 모델은 그림 4와 같다.

$$g = \left. \frac{\partial i_{pv}}{\partial v_{pv}} \right|_{(V,I)} = - \left(R_s + \frac{1}{\frac{I_s}{\eta V_T} e^{\frac{V+R_s I}{\eta V_T}} + \frac{1}{R_p}} \right)^{-1} \quad (9)$$

where, $R_{eq} = -1/g$, $V_{eq} = V - I/g$

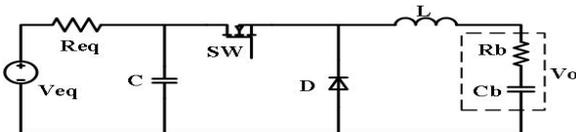


Figure 4. circuit model considered with PV cell and battery

그림 4에 대한 전류 제어전달함수를 구해보면 식 (10)과 같으며 이에 대한 페루프 전달함수는 그림 4와 같다.

$$G_{id}(s) = \frac{sC_b[V(1+sCR_{eq}) - I_L R_{eq}D]}{(s^2LC_b + sC_bR_b + 1)(sCR_{eq} + 1) + sD^2R_{eq}C_b} \quad (10)$$

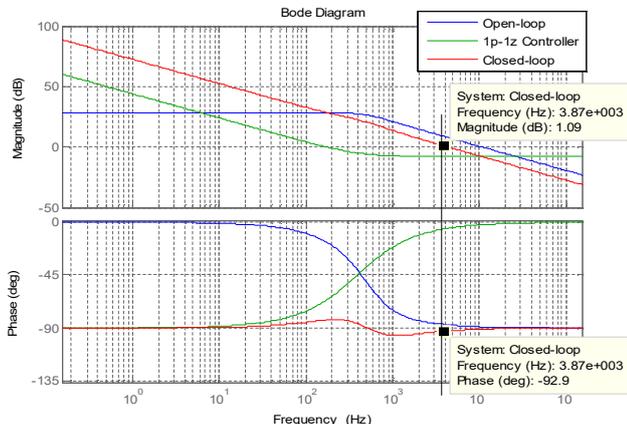


Figure 5. Closed loop transfer function with error compensator

3. 시뮬레이션 결과

앞서 설계한 제어기의 시간응답 특성을 PSIM을 사용하여 시뮬레이션 하였다. 그림 6은 MPPT와 전류제어를 하는 경우에 태양광 셀과 배터리의 각부 파형이다. 과도상태에서 오버슈트 없이 빠르고 안정적으로 최대값을 추종하는 것을 볼 수 있다.

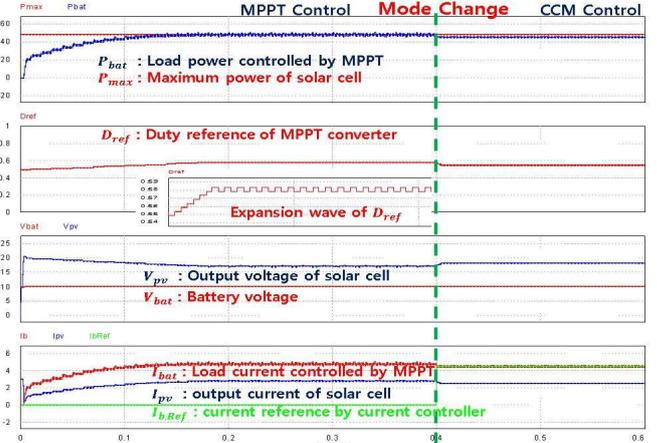


Figure 6. PSIM simulation result for MPPT & current control

그림7은 태양광 충전기와 dc 모터 제어를 결합한 모델이다. 이에 대한 PSIM 시뮬레이션 결과는 그림 8과 같다.

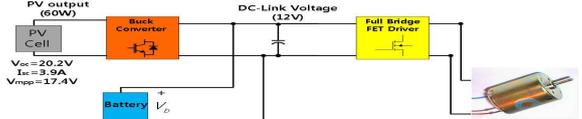


Figure 7 PV Battery charger & Motor control diagram

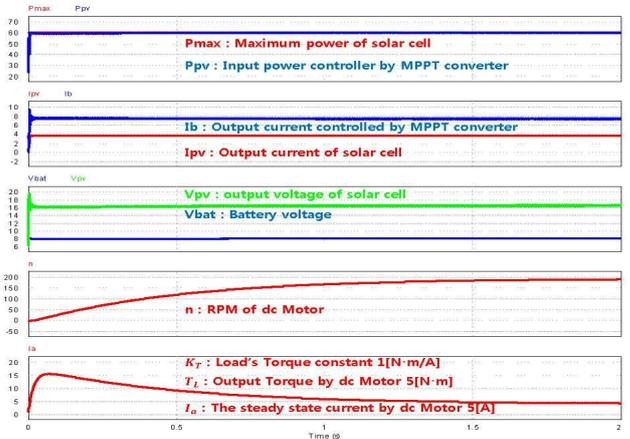


Figure 8. PSIM simulation result for dc Motor control

4. 결론

본 논문은 전압원 특성을 지닌 부하들에서 적용할 수 있는 MPPT 제어기법과 dc 모터 제어에 대한 수식적 검증 및 알고리즘 설계, 그리고 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 향후 이에 대해 실험을 통해서 구현할 계획이다.

본 연구는 교육과학기술부의 대구경북과학기술원 일반사업(12-BD-0101)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] D. Shmiiovitz, "On the control of photovoltaic maximum power point tracker via output parameters," IEEE Proc. Electr. Power Appl., Vol 152, No2, March 2005