

신경회로망 PI자기동조를 이용한 PV발전시스템의 MPPT제어

이재훈* · 김은기* · 김대균* · 이상집** · 오봉환§ · 이훈구§§ · 김용주§§§ · 한경희*
 명지대학교* · 영화전기** · 명지전문대학§ · 용인송담대학§§ · 동양공업전문대학§§§

MPPT Control of Photovoltaic System using
 Neural Network PI Self Tuning

J.H. Lee* · E.G. Kim* · D.G. Kim* · S.C. Lee** · B.H. Oh§ · H.G. Lee§§ · Y.J. Kim§§§ · K.H. Han*
 Myongji Univ.* · Young Hwa. E** · Myongji Col.§ · Yong-In Songdam Col.§§ · Dongyang Tech Col.§§§

Abstract - This paper shows how to design a MPPT control of PV system using neural network PI self tuning. The conventional self-tuning methods have the voltage control problem of nonlinear PV system which can't adapt against any kinds of noise or operation circumstances. In this paper, supposed to solve these problem to PI parameters controller algorithm using ANN. In the proposed algorithm, the parameters of the controller were adjusted to reduce by on-line system the error of the output voltage of DC-DC chopper. In this process, EBPA NN was constituted to an output error value of a DC-DC chopper and conspired an input and output. The performance of the self-tuning controller is compared with that of the PI controller tuned by conventional method. The effectiveness of the proposed control method is verified thought the Matlab Simulink.

1. 서 론

태양광발전 시스템은 태양전지의 전압, 전류를 검출하여 일사량 변화에 따라 태양전지의 출력을 항상 최대화 하는 제어신호를 발생시켜 어떤 자연조건하에서도 최대 전력을 출력하도록 제어할 필요가 있다. 일반적으로 최대 출력점을 추적하는 제어방법으로는 시비율 변화량을 일정하게 제어하는 고정 시비율인 전력비교법이 보편적으로 사용되고 있다.^[1] 그러나 시비율 변화량을 크게 하면 최대출력점을 빠르게 추종하지만 최대출력점 근방에서는 큰 자러진동이 발생한다. 반면 시비율 변화량을 작게 하면 자러진동은 작지만 추종시간이 늦어진다.^[2] 이러한 두 가지 상반되는 최대전력제어법의 문제점을 보완하기 위하여, 전압제어기의 게인값을 신경회로망의 오류역전파(EBP : Error Back Propagation)알고리즘을 이용한 자기동조기로 원활한 최대출력을 얻어 어떠한 자연조건하에서도 최대출력이 되도록 제어하여야 한다.^{[3][4]}

본 논문에서는 MPPT 제어하기 위한 과정으로, 변화하는 입력전압을, EBP 알고리즘을 이용한 전압제어기의 PI 게인값을 자기동조 시킴으로써 출력전압이 안정되도록 하였다. 이를 확인하기 위하여 Matlab Simulink를 이용하여 알고리즘의 타당성을 확인하였다.

2. 태양전지의 동작특성

그림 1은 태양광전지의 전형적인 등가회로를 나타내고 있다.

태양전지의 전형적인 I-V 특성은 다음 식(1)과 같다.

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{\frac{q(V+IR_s)}{Ak_bT}} - 1 \right\} - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

그림 2는 일사량변화에 따른 태양전지의 출력I-V특성곡선 및 P-V특성곡선을 보여주고 있다.

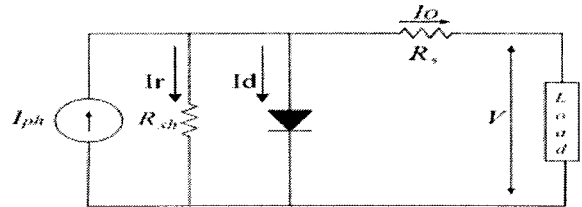


그림 1. 태양광전지의 등가모델

Fig. 1 The equivalent mode of photovoltaic cell

태양광 전지의 출력특성이 비선형적이고, 각각의 특성곡선이 단지 한 개의 최대출력점만을 갖는다는 것을 알 수 있다. 태양전지 출력전류가 일사량 변화에 대하여 주로 영향을 받는다. 또한 일반적으로 태양전지 출력전압은 태양광 전지의 온도변화에 주로 영향을 받는다. 이와 같이, 태양광 전지는 외부조건 변화 시 그 특성이 비선형적으로 변하기 때문에 태양광 패널을 효율적으로 사용하기 위해서는 반드시 최대출력점 추적(MPPT)을 수행하는 것이 바람직하다.

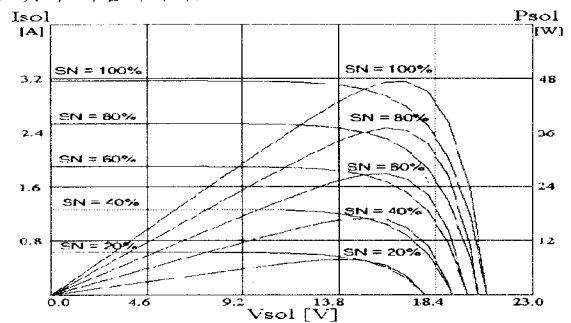


그림 2. 일사량 변화에 따른 태양전지 출력특성곡선
 Fig. 2 PV array characteristics curve with insolation

3. 태양양광시스템의 최대출력점 추적제어 시스템

3.1 전체 시스템 구성

신경회로망을 이용한 PI자기동조 기법을 사용한 태양광발전 시스템의 전체 구성은 그림 3과 같다.

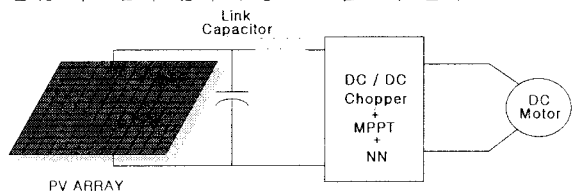


그림 3. 태양광 발전 시스템 구성도

Fig. 3 Configuration of the Photovoltaic system

태양전지 어레이의 출력전압은 일사량의 변화에 대해서 약간의 변동폭을 가지는 정전압 특성을 나타내고 있으므로, 어떤 일정한 전압을 설정하여 정전압으로 제어하는 방법을 일정전압제어방법이라고 하며, 따라서 이 기법은 출력에 대해 전력량이 필요하지 않다.

DC-DC 초퍼의 시비율은 제어회로에 의해 결정되며 이것은 출력측 V_{out} 전압은 정상상태 조건의 V_s^* 값에 의해 일정하게 유지된다. 이 정전압제어법은 전류센서를 줄일 수 있으며 일사량 급변시 정확한 최대출력점을 찾아 동작하지 못해 출력효율이 감소하는 단점이 있다.

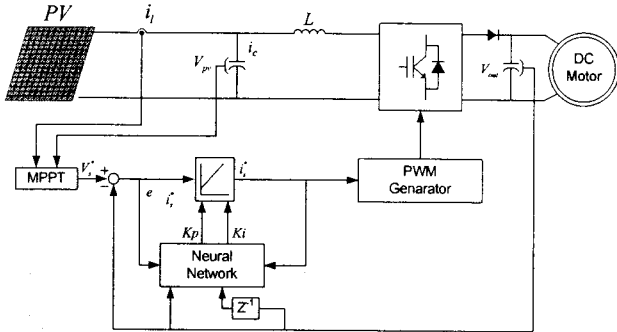


그림 4. 태양광발전 시스템의 제어블럭도
Fig. 4 Configuration of overall controller

그림 4는 신경회로망을 이용하여 PI제어기 게인값을 자기 동조하는 태양광발전 시스템의 제어블럭도이다.

전압제어기의 PI 게인값을 신경회로망을 통하여 실시간 자기동조하므로써 출력전압을 일정하게 유지하여 안정을 갖는다.

3.2 PI제어기의 파라미터 동조 알고리즘

일반적인 속도형 PI제어기의 일반형태는 식(2)과 같다.

$$u(t) = u(t-1) + K_P[e(t) - e(t-1)] + K_I e(t) T_s \quad (2)$$

여기서 T_s 는 샘플링 시간을 나타내며 각 파라미터들의 조절은 제어시스템의 $e(t)$ 에 영향을 준다. 그림5의 오차신호는 EBP학습알고리즘과 최급하강법을 이용하여 신경회로망의 연결가중치를 조정으로 목적함수 E 가 최소가 되도록 조절한다. 이 때 목적함수 E 는 식(3)와 같이 나타낸다.

$$E = \frac{1}{2} \{x(t-1) - y(t)\}^2 = \frac{1}{2} e(t)^2 \quad (3)$$

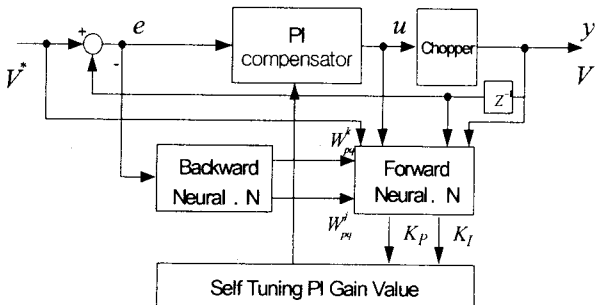


그림 5. EBP알고리즘을 이용한 자기동조 PI제어기 학습 블록선도

Fig. 5 Block diagram of the learning scheme self tuning PI controller using Error Back-Propagation

각 출력의 뉴런들은 연결가중치 ΔW_{pq}^L 의 조정으로 값이 결정된다. 입출력 뉴런들의 관계는 식(4),(5)과 같이 나타낸다.

$$net_p^L = \sum W_{pq}^L \times y_q^L \quad (4)$$

$$y_p^L = f(net_p^L) \quad pq: kj, ji \quad L: k, j, i \quad (5)$$

이 때 함수 $f(x)$ 는 활성화 함수로 단조증가, 연속, 미분가능의 성질을 만족해야 하므로 일반적으로 시그모이드함수를 사용한다. 연결가중치의 변화에 따른 목적함수는 식(6)과 같이 나타낸다.

$$\Delta W_{pq} = -\frac{\partial E}{\partial W_{pq}} \alpha \quad (6)$$

$\partial E / \partial W_{pq}$ 를 연쇄법칙(Chain rule)에 의해 풀면 식(7)과 같이 나타낸다.

$$\frac{\partial E}{\partial W_{pq}} = \frac{\partial E}{\partial y(t)} \frac{\partial y(t)}{\partial u(t-1)} \frac{\partial u(t-1)}{\partial K(t-1)} \frac{\partial K(t-1)}{\partial W_{pq}} \quad (7)$$

플랜트에 대한 정보를 모른다면 미지의 플랜트에 대해 입출력의 변화량과 부호는 유도할 수 있다. 그러므로 sign함수로 나타내면 식(8)과 같이 나타낸다.

$$\frac{\partial y}{\partial u(t-1)} = \text{sign}\left(\frac{\partial y}{\partial u(t-1)}\right) \left| \frac{\partial y}{\partial u(t-1)} \right| \quad (8)$$

$K(t-1)$ 은 PI제어기의 파라미터이므로 $K = K_P, K_I$ 가 된다. 그러므로 $\partial K(t-1) / \partial W_{pq}$ 는 EBP에 의해 식(9), (10)과 같이 나타낸다.

$$\left(\frac{\partial K_P}{\partial W_{pq}^k} \frac{\partial K_I}{\partial W_{pq}^k} \right) = \left(\frac{\partial y_{1k}}{\partial W_{1q}^k} \frac{\partial y_{2k}}{\partial W_{2q}^k} \right) = (F_{1q}^k y_q^k F_{2q}^k y_q^k) \quad (9)$$

$$\left(\frac{\partial K_P}{\partial W_{pq}^k} \frac{\partial K_I}{\partial W_{pq}^k} \right) = \left(\frac{\partial y_{1k}}{\partial W_{1q}^k} \frac{\partial y_{2k}}{\partial W_{2q}^k} \right) = \{F_{1q}^k y_q^k (F_{1q}^k W_{pq}^k) F_{2q}^k y_q^k (F_{2q}^k W_{pq}^k)\} \quad (10)$$

$\partial u(t-1) / \partial K(t-1)$ 는 디지털 PI제어기 중 속도형 PI제어기인 식(2)과 같이 되고 관계식은 다음 식(12),(13)과 같이 나타낸다.

$$\frac{\partial u(t-1)}{\partial K(t-1)} = e(t-1) - e(t-2) \quad K = K_P \quad (11)$$

$$\frac{\partial u(t-1)}{\partial K(t-1)} = e(t-1) \quad K = K_I \quad (12)$$

그러므로 연결가중치의 변화에 따른 목적함수의 변화는 식(8),(9),(10)과 식(11),(12)을 식(6)에 의해 식(13)과 같이 나타낸다.

여기서 $F_V^L = f_v(net_L)$, $L=k, j, i$ 층을 나타낸다.

$$\Delta W_{pq} = -\frac{\partial E}{\partial W_{pq}} \alpha = \alpha \times e(t) \frac{\partial y}{\partial u(t-1)} \left(\partial u_1(t-1) \frac{\partial K_P(t-1)}{\partial W_{pq}} + \partial u_2(t-1) \frac{\partial K_I(t-1)}{\partial W_{pq}} \right) \quad (13)$$

출력층과 중간층, 중간층과 입력층에서의 연결가중치 변화량을 나타내면 식(14)와 같이 나타낸다.

$$\Delta W_{pq}^L(t) = W_{pq}^L(t-1) + \Delta W_{pq}^L + \beta W_{pq}^L(t-1) \quad (14)$$

여기서 α 는 학습을 β 는 모멘텀 상수이다.

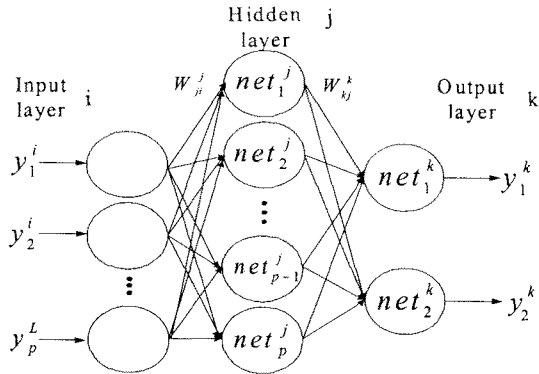


그림 6. 신경회로망의 세부구조
Fig. 6 Detailed structure of Neural Network

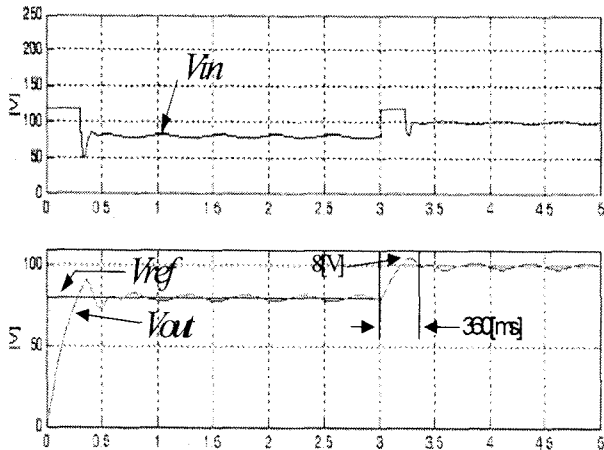
4. 시뮬레이션 결과

제안된 기법과 기존의 기법과의 성능 비교 검증을 위하여 신경회로망은 4개의 입력층과 10개의 은닉층, 2개의 출력층을 갖는 다층 퍼셉트론으로 구성하였다. 표 1은 시뮬레이션에 사용한 솔라셀의 정격과 파라미터를 나타낸다.

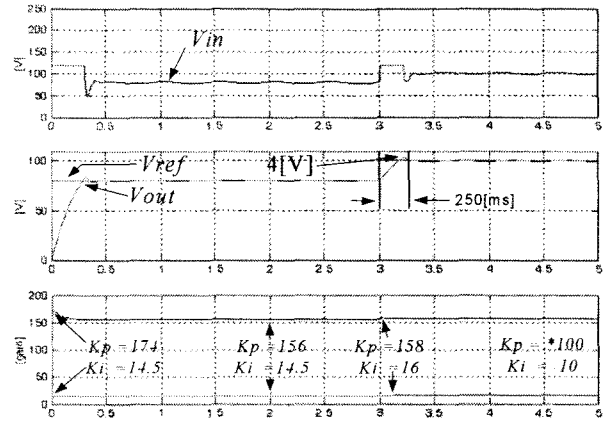
표. 1 솔라셀의 정격과 파라미터
Table. 1 Solar Cell parameter

모델명	M65(SIEMENS)
개방전압	18.0[V]
단락전류	3.32[A]
정격전압	13.6[V]
정격전류	2.95[A]

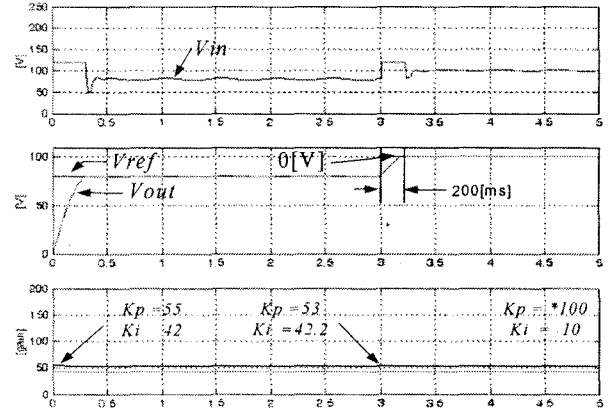
그림 7은 출력전압을 3[s]에서 80[V]→100[V]로 변화하고 출력전압의 응답특성을 시뮬레이션 한 결과 파형을 나타낸다. (a)는 기존 PI제어기를 사용하여 출력전압 변화시 8[V]의 오버슈트를 갖으며, 360[ms]의 응답시간을 갖는다. (b)는 신경회로망 PI자기동조 제어기를 이용하여 5번 학습 후 출력전압 변화시 4[V]의 오버슈트를 갖으며, 250[ms]의 응답시간을 갖고, (c)는 10번 학습 후 출력전압 변화시 오버슈트를 제거되며, 200[ms]의 응답시간을 갖는다. (a)기존 PI제어기를 사용한 것 보다 (c)신경회로망을 PI자기동조 제어기가 양호함을 확인하였다.



(a) The Conventional PI Controller



(b) NN Self tuning PI Controller After 5 training



(c) NN Self tuning PI Controller After 10 training

그림 7. 신경회로망 PI자기 동조를 이용한 PV 발전시스템의 출력전압제어

Fig. 7 Input & Output Voltage waveform and PI gain using Self tuning

5. 결론

본 논문에서는 일사량이 일정하지 못한 태양광 발전시스템에서 최대출력점 제어를 할 경우의 전 단계로 전압제어기의 PI 게인값을 실시간 자기 동조시켜 입력전압이 변화하여도 출력전압이 안정되는 것을 확인한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

출력전압 변화시 기존 PI제어기의 평균 응답시간 약 360[ms]보다 신경회로망 PI제어기(10회학습)의 평균 응답시간이 200[ms]로 향상되었고, 오버슈트는 8[V]→0[V]로 제거됨을 확인하였다.

향후 본 제어기법을 태양광발전시스템의 MPPT제어에 적용할 예정이다.

[참고 문헌]

- [1] C.R Sullivan and M.J. Powers, "A high-efficiency maximum power point tracker for photovoltaic arrays in a solar-powered race vehicle", IEEE-PESC Conf.Rec.pp.574-580,1993
- [2] T.Noguchi,s. Togashi,and R.Nakamotm,"Short current pulse-based maximum power-pointtracking method for multiple photovoltaic-and-converter module system", IEEE trans. Ind, Electronics., vol.49, pp.217~223, Fed.2002
- [3] "30 years of adaptive neural networks: perceptron, Madaline, and backpropagation", Widrow, B.; Proceedings of the IEEE Volume 78, Issue 9, Sept. 1990 Page(s):1415 - 1442
- [4] K.J, Astrom, T.Hagglund, C.C. hang and W.K. Ho, "Automatic Tuning and Adaption for PID Controllers - A Survey", Control Eng. Practice, Vol. 1, No.4, pp699-714, 1993