

## IPMSM을 이용한 PV 펌프 시스템의 FLC MPPT 제어

장미금\*, 고재섭\*, 강성준\*, 김순영\*, 문주희\*, 이진국\*, 정동화\*  
 순천대학교\*, 전자부품연구원\*\*

### FLC MPPT Control of PV Pump System using IPMSM

Mi-Geum Jang\*\*, Jae-Sub Ko\*, Seong-Jun Kang\*, Soon-Young Kim\*, Ju-Hui Mun\*, Jin-Kook Lee\*, Dong-Hwa Chung\*  
 Suncheon National University\*, Korea Electronics Technology Institute\*\*

**Abstract** - This paper proposes fuzzy logic control maximum power point tracking(FLC MPPT) of photovoltaic(PV) pump system using IPMSM. Conventional MPPT controller was unstable by reason of the ripple-current of DC link in three phase inverter. Thus in this paper the control algorithm of IPMSM using  $\hat{i}_q$  current is composed to improve the insecurity of conventional MPPT controller. Proposed algorithm is operated by simulation with variation radiation condition. And analyze the response characteristic of IPMSM. The validity of this paper is proved by analyzed data.

#### 1. 서 론

태양 에너지는 이용 가능한 형태로 사용 가능하기 전에 많은 에너지 변환을 해야 한다. 현재까지, 에너지 변환에는 많은 비용이 들었지만, 전력 상태를 위한 저가의 장치와 반도체 기술의 빠른 발전으로 가능하게 되었다. PCS는 PV어레이와 부하 사이에 인터페이스로 동작한다. IPMSM은 돌극비를 크게 하기 위해 설계된 전동기로서 최근 전기자동차 및 워터 펌프 등에 사용되고 있다.[1] 그러나 태양광 발전 시스템에서는 일사량이 다양하게 변화되어 전동기의 동작은 비선형이 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 동작 최적 레벨에서 시스템의 운용에 의해, MPPT 알고리즘에 IPMSM의 특성이 매칭 되도록 시간과 일사량이 변하는 레벨에 PV의 최대 전력점을 추적하게 된다. 또한 종래의 MPPT 제어 방식은 정전압 제어방식과 비선형함수 계산방식[2], PO(Perturbation and Observation) 제어방법[3], IC(Incremental Conductance) 제어방법[4] 등이 대표적이다. 그러나 일사량이 급변하는 경우에 MPP를 추적하지 못하고, 계산량이 많아 고성능 CPU가 요구되며 추적효율이 낮다는 단점이 있다.[5] 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 FLC(Fuzzy Logic Control)를 이용한 PV 펌프 시스템의 MPPT 제어를 제시한다. FLC 제어 알고리즘은 일사량과 온도 등의 환경변화에 대해 강인성을 유지할 수 있으며, 정상상태에서의 자려진동이 거의 없기 때문에 효율을 높일 수 있다. 본 논문에서 제시한 FLC MPPT 알고리즘의 응답특성을 종래의 방법과 비교하고, 이를 PV 펌프 시스템에 적용하여 제시한 알고리즘의 타당성을 입증한다.

#### 2. 태양전지 모델링

태양전지 모듈은 원하는 전압과 전류를 얻기 위하여 다수의 태양전지 셀을 직·병렬로 연결하여 구성하고, 또한 태양전지 어레이는 이러한 모듈을 다시 직·병렬로 연결하여 제작한다. 태양전지의 전류-전압 특성 곡선을 얻기 위한 수식은 다음 식과 같이 표현된다.

$$I_{ph} = I_{sc} S_N + I_T (T_c - T_r) \quad (1)$$

$$I_d = I_o \left[ e^{\frac{q(V_{pv} + I_c R_s)}{AKT}} - 1 \right] \quad (2)$$

$$I_o = I_{or} \left[ \frac{T_c}{T_r} \right]^3 e^{\frac{qE_g}{Bk} \left( \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T_c} \right)} \quad (3)$$

$$I_c = I_{ph} - I_d - \frac{V_{pv} + I_c R_s}{R_{sh}} \quad (4)$$

여기서,  $I_{ph}$ 는 광전류,  $S_N$ 은 단위 일사량,  $I_T$ 는 단락전류 온도계수  $[A/K]$ ,  $I_d$ 는 다이오드 전류,  $R_s$ 는 직렬저항,  $R_{sh}$ 는 병렬저항,  $T_c$ 는 태양전지 온도 $[K]$ ,  $T_r$ 는 태양전지 기준온도 $[K]$ ,  $A, B$ 는 제조상수,  $I_{or}$

은 역포화 전류,  $E_g$ 는 에너지 밴드갭을 의미한다. 식(4)을 전압 형태로 나타내면 다음과 같다.

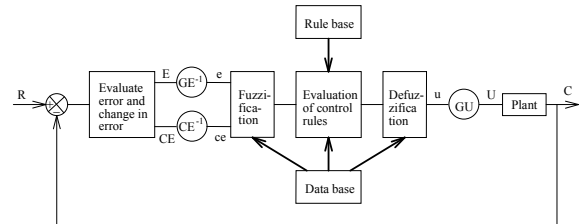
$$V_{pv} = \frac{AKT}{q} \cdot \ln \left( \frac{I_{ph} + I_o - I_c}{I_c} \right) - R_s I_c \quad (5)$$

#### 3. FLC MPPT 알고리즘

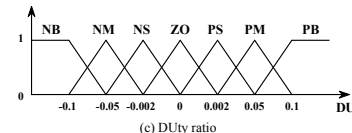
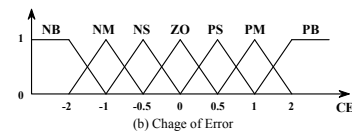
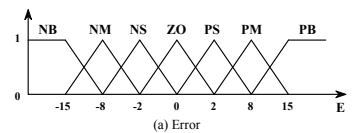
그림 1은 퍼지제어 시스템의 기본 구조를 나타낸다. FLC는 2개의 입력 변수를 갖으며 샘플링 구간  $k$ 에서의 입력변수  $E(k)$ 와  $CE(k)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$E(k) = \frac{V_{pv}(k) \cdot I_{pv}(k) - V_{pv}(k-1) \cdot I_{pv}(k-1)}{V_{pv}(k) - V_{pv}(k-1)} \quad (6)$$

$$CE(k) = E(k) - E(k-1) \quad (7)$$



〈그림 1〉 퍼지제어 시스템의 기본적인 구조



〈그림 2〉 오차와 오차변화분 및 시비율에 대한 멤버십 함수

퍼지언어 변수는 7단계, 즉 PB(Positive Big), PM(Positive Middle), PS(Positive Small), ZO(Zero), NS(Negative Small), NM(Negative Middle), NB(Negative Big)로 정하였으며, 그림 2는 입·출력에 대한 7개의 기본 언어변수에 따른 삼각형 모양의 소속함수를 나타낸다. 표 1은 퍼지제어기의 제어규칙을 나타내는데, 여기서는 행렬의 각각의 요소들은  $E(error)$ ,  $CE(change of error)$ 와 컨버터의 시비율 변화량  $dDU$ 를 나타낸다. 표 1에서 제어규칙의 한 가지 예를 들면 아래와 같다.

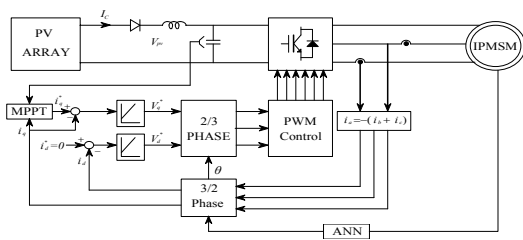
"IF E is PB AND CE is ZO THEN DU is PB."

즉, 전압에 대한 전력의 특성곡선에서 기울기가 매우 크고 그 기울기에 대한 변화량이 없으면 제어 출력값을 매우 크게 증가시키라는 의미이며 또한 입력신호인 오차  $E$ 를 'Zero'로 취하는 의미는 시비율이 '0'이 되도록 제어규칙을 설계한다.

〈표 1〉 FLC 규칙 베이스

| $E \backslash CE$ | NB | NM | NS | ZO | PS | PM | PB |
|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| NB                | NB | NB | NB | NB | NM | NS | ZO |
| NM                | NB | NB | NM | NM | NS | ZO | PS |
| NS                | NB | NM | NS | NS | ZO | PS | PM |
| ZO                | NB | NM | NS | ZO | PS | PM | PB |
| PS                | NM | NS | ZO | PS | PS | PM | PB |
| PM                | NS | ZO | PS | PM | PM | PB | PB |
| PB                | ZO | PS | PM | PB | PB | PB | PB |

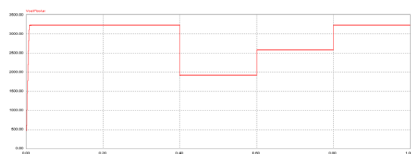
그림 3은 태양광 발전에 의한 IPMSM 시스템의 제어 블록도를 나타낸다.



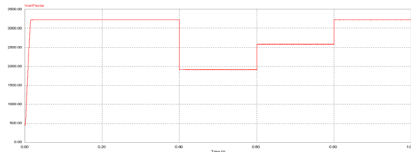
〈그림 3〉 PVG에 의한 IPMSM 시스템의 제어 블록도

#### 4. 시스템 성능결과

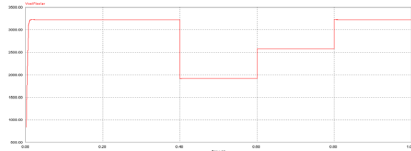
그림 4는 일사량을 0[sec]에서 1000[W/m<sup>2</sup>], 0.4[sec]에서 600[W/m<sup>2</sup>], 0.6[sec]에서 800[W/m<sup>2</sup>], 0.8[sec]에서 1000[W/m<sup>2</sup>]으로 변화시켰을 경우의 응답특성을 나타낸다. 그림 4(a)는 CV 방법, 그림 4(b)는 PO 방법, 그림 4(c)는 본 논문에서 제시한 FLC MPPT 방법의 출력전력을 나타낸다. 그림 5는 그림 4를 명확하게 분석하기 위해 확대한 것을 나타낸다. 본 논문에서 제시한 FLC 제어 방법이 종래의 CV, PO 방법에 비하여 출력전력의 리플이 적게 나타나고 있어 더욱 우수한 결과를 보여준다.



(a) CV control method

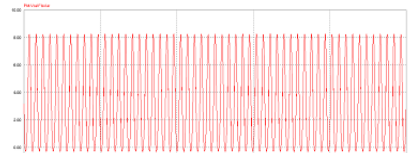


(b) PO control method

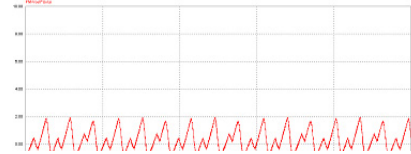


(c) FLC control method  
〈그림 4〉 MPPT 제어방법에 따른 출력전력

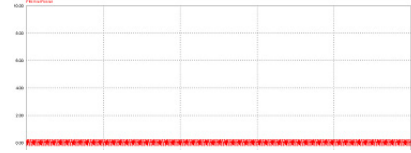
그림 6은 IPMSM의 속도 및 q축 지령전류의 변화를 나타내고 있다. 첫 번째 결과는 전동기의 속도를 나타내며 두 번째 결과는 q축 지령전류의 변화를 나타내고 있다. 일사량이 변화되는 동안에 MPPT 제어 알고리즘에 의해 q축 지령전류가 변화되고 있으며, 이에 따라 전동기의 속도 응답도 양호하게 변화됨을 알 수 있다.



(a) CV control method

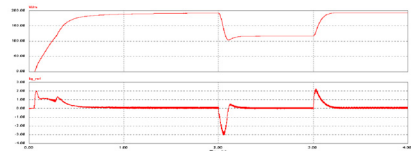


(b) PO control method



(c) FLC control method

〈그림 5〉 MPPT 제어방법에 따른 최대 전력오차 확대



〈그림 6〉 일사량 변화에 대한 전동기의 전류 및 속도 응답특성

#### 5. 결 론

본 논문에서는 IPMSM을 이용한 PV 펌프 시스템을 위한 FLC MPPT 제어 알고리즘을 제시하였다. 종래의 CV, PO 및 IC MPPT 알고리즘은 일사량의 급변이나 저 일사량에 대해 취약하거나 고성능 CPU가 필요한 단점을 가지고 있다. 또한 종래의 DC-DC 컨버터에 의한 MPPT 제어는 DC 링 크단의 전류 리플에 의해 그 성능이 악화되었다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 FLC를 이용한 MPPT 알고리즘을 제시하고 DC-DC 컨버터가 없는 새로운 제어 방식을 제시하였다. 인버터의 출력 전류와 태양광 발전의 출력 전압을 이용하여 MPPT 제어를 수행하였으며, MPPT 제어기는 새로운 지령 q축 전류를 발생하였다. 제시한 알고리즘은 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 일사량 변화에 대한 MPPT 제어 응답특성과 전동기의 응답특성을 분석하였다. FLC 제어기는 종래의 CV, PO 및 IC 제어 알고리즘에 비하여 일사량이 일정 및 변동에 대해 정상상태의 자러진동이 적게 나타나 출력 손실을 줄일 수 있었다. 또한 전동기 응답특성에서도 일사량 변화에 대해 q축 전류가 변화하여 전동기의 속도 응답특성도 양호한 성능을 나타냈다. 이로써 본 논문에서 제시한 MPPT 알고리즘의 타당성을 입증하였다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Dr. M. A. Rah "Advances on IPM Technology for Hybrid Cars and Impact in Developing Countries", 5th International Conference on Electrical and Computer Engineering ICECE 2008, pp. 189-194, 2008.
- [2] M. Bo역, M. Ermis, "Maximum Power Point Tracking for low power photovoltaic solar panels", Proc. of Electrotechnical Conference, Vol. 2, pp. 758-761, 1994.
- [3] N. Femia, G. Petron, G. Spagnuolo, and M. Vitelli, "Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method," IEEE Trans. Power Electron., Vol. 20, no. 4, pp. 963-973, 2005.
- [4] P. Wolfs, Q. Li "A current-sensor-free incremental conductance single cell MPPT for high performance vehicle solar arrays" PESC06. pp. 1-7, 2006.
- [5] X. Sun, W. Wu, X. Li, Q. Zhao, "A research on photovoltaic energy controlling system with maximum power point tracking", Proc. of PCC '02, Vol. 2, pp. 822-826, 2002.