

퍼지 제어기에 의한 동기전동기의 부하각 제어 시스템에 관한 연구

이관태*, 김태우**, 송호신***, 이오걸****, 윤지나*, 이준탁*
 *동아대학교 전기공학과, **한국전력공사, ***부산정보대학, ****동의과학대학,

A Study on the Fuzzy Load Angle Control System for the Stable Drive of Synchronous Motor

Kwan-Tae Lee, Tae-Woo Kim, Ho-Sin Kim, Oh-Keol Lee, Ji-Na Youn, John-T. Lee
 School of Electrical Engineering, Dong-A University, 840, Hadan-dong, Saha-gu, Busan, Korea

Abstract - 동기기가 전동기의 모드로 운전하고 있을 때, 동기속도로 안정된 운전을 하는 중 순간적으로 과부하가 인가되게 되면 이로 인해 동기 이탈 현상이 발생한다. 동기속도로 운전 중인 동기전동기가 동기이탈을 하게 되면 계통의 역률, 안정도 등에 치명적인 악영향을 미치게 되어 여러 가지 손실을 가져오게 된다. 동기전동기가 안정된 운전을 할 수 있도록 하기 위한 한 가지 요인인 부하각을 제어하게 되면 앞에서 말한 위험한 상황을 예방 할 수가 있다. 본 논문에서는 동기전동기의 부하각을 마이크로프로세서에 의해 퍼지 부하각 제어 기법을 적용하여 동기전동기의 안정된 운전을 행하고자 하였다.

$$b = \frac{\frac{X_q' \cdot T_{d0}''}{X_{d0}' \cdot T_{q0}''} - \frac{X_q' - X_q''}{X_d' - X_d''}}{\frac{X_q' \cdot T_{d0}''}{X_{d0}' \cdot T_{q0}''} + \frac{X_q' - X_q''}{X_d' - X_d''}} \quad (2)$$

단, T_{d0}'' : 직축 전기자 권선의 단락회로 시정수
 T_{q0}'' : 횡축 전기자 권선의 단락회로 시정수
 X_d' : 직축 파도리액턴스
 X_d'' : 직축 초기파도리액턴스

1. 서 론

동기기는 정상운전 시 일정 주파수 전원에서 동기속도로 회전하는 교류기로서 계사를 직류 여자하여 유기기전력, 출력전압, 역률 및 전기자 전류의 크기를 조정하도록 되어 있다.[1] 동기전동기가 정상상태로 운전 중 부하각이 약 90°가 넘는 정도의 부하가 인가하게 되면 부하토크가 동기전동기의 탈출토크이상으로 되어 동기속도에서 이탈 하여 난조 현상이 발생한다. 난조가 발생하면 계통의 안정도에 치명적인 악영향을 미칠 수가 있다.[2] 따라서 본 연구에서는 동기기를 전동기로 사용할 때 안정된 운전특성을 요구하기 위해 FLC(Fuzzy Logic Controller)를 이용한 퍼지 부하각 제어 시스템을 설계하여 실험하였는데, 본 논문에서 적용된 퍼지 부하각 제어기는 마이크로프로세서를 이용하여 퍼지 알고리즘을 구현하여 실험하였다. 부하의 변화에 따른 동기전동기의 부하각을 실시간으로 감시하고, 부하각이 벌어지지 않도록 퍼지 알고리즘을 이용한 정밀한 제어를 행하여 동기전동기가 어떠한 부하의 변화에도 항상 안정된 운전을 행하도록 하여 안정도 개선은 물론 수전설비의 용량 감소에도 기여하게 하였다. 이처럼 각종 부하에 대한 실험을 통하여 본 논문에서 제안한 퍼지 부하각 제어 시스템의 우수성을 입증하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 동기전동기의 동특성 모델링

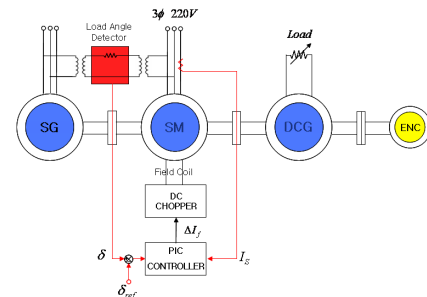
동기전동기의 토크 운동 특성방정식은

$$\frac{4\pi J}{360P} \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} + T_{im} \cdot (1 - b \cdot \cos 2\delta) \cdot \frac{d\delta}{dt} + T_{sm} \cdot \sin\delta \cdot F(t, \theta_f) + T_r \cdot \sin 2\delta = T_l \quad (1)$$

와 같이 표현된다.[1] 여기서, δ 는 고정자 단자전압과 직류여자에 의해 동일 상에서 유기되는 전압과의 위상차이다. 식 (1)의 첫 항의 계수 $\frac{4\pi J}{360P}$ 는 회전자와 이에 접속된 부하 회전체의 가속에 기인한 토크 성분으로서, 관성에 비례하고 극수에 반비례한다. 식(1)의 제 2항은 슬립이 $\frac{d\delta}{dt}$ 에 비례하므로, 평행 다상 회전자구조에 대한 통상의 유도전동기 토크 항으로서, 회전자가 돌극일 경우 $(1 - b \cdot \cos 2\delta)$ 를 포함한다. b 는 제동권선의 비대칭 및 돌극에 의한 맥동계수로서 동기인입에 앞선 슬립 맥동의 크기를 증가시키는데 기여하며,

2.2 퍼지 부하각 제어기 설계

퍼지 부하각 제어기를 설계하기 위한 첫 단계는 입출력 제어기의 변수를 결정하고, 제어기의 입출력 변수의 값의 범위를 결정해야 한다. 두 번째는 각 입출력을 위해 멤버쉽 함수로 결정된 각 입출력 퍼지값을 사용하기 위하여 선택해야하고, 세 번째는 퍼지 제어 규칙 베이스를 구성해야 한다. 멤버쉽 함수와 퍼지 제어 규칙의 구성은 FLC를 구성하는데 있어 매우 중요하다. 보상기 시스템에 기반을 둔 퍼지 논리의 기본적인 블록 다이어그램의 구성은 그림 1과 같다.



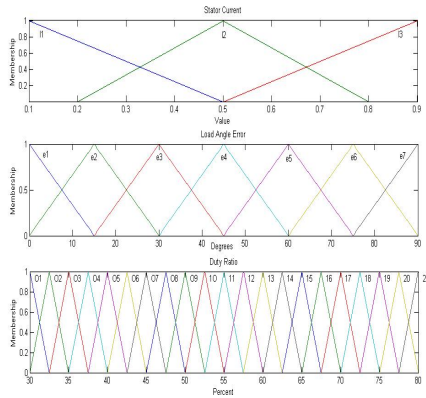
〈그림 1〉 퍼지 부하각 제어 시스템 블록

퍼지 제어기를 구성하는 입력변수는 부하각의 오차 e 와 전기자 전류 I_s 이다. 여자전류의 변화 ΔI_f 는 출력 변수로 정의되고, 부하각 오차 e 는 기준 부하각 δ_{ref} 과 측정되어진 부하각 δ 의 차로써, 식 (3)과 같이 정의 된다.

$$e = \delta_{ref} - \delta \quad (3)$$

전기자 전류는 입력전원에 연결된 전류계에 의해 측정되고 퍼지 제어기의 입력에 접속된다. 퍼지제어기의 출력은 여자전류의 편차 ΔI_f 를 결정하게 된다. 동기전동기의 여자 전류 I_{fk} 는 식 (4)에 주어진 여자전류의 이전 값 $I_{f(k-1)}$ 에서 여자전류의 변화량 ΔI_f 를 더함으로써 계산된다.

$$I_{fk} = I_{f(k-1)} + \Delta I_f \quad (4)$$

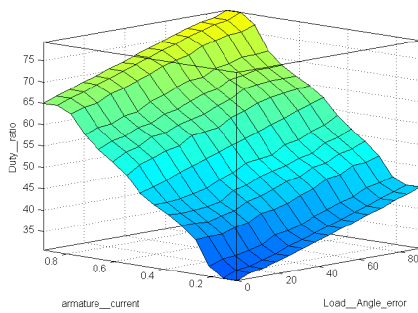


〈그림 2〉 전자 전류 I_s , 부하각 오차 δ , PWM펄스의 Duty ratio의 멤버십 함수

〈표 1〉 퍼지 제어를 위한 룰테이블

	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7
I_1	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7
I_2	O_8	O_9	O_{10}	O_{11}	O_{12}	O_{13}	O_{14}
I_3	O_{15}	O_{16}	O_{17}	O_{18}	O_{19}	O_{20}	O_{21}

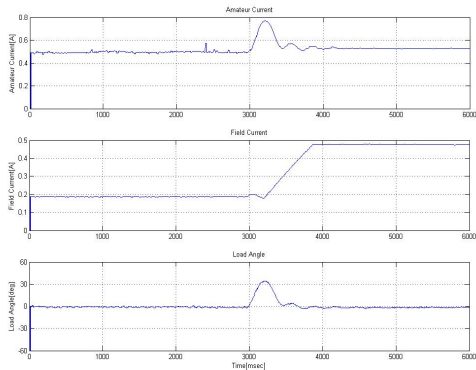
if ($I_s = I_1$) and ($e = e_1$) then $\Delta I_f = O_1$
 if ($I_s = I_2$) and ($e = e_3$) then $\Delta I_f = O_{10}$
 if ($I_s = I_3$) and ($e = e_4$) then $\Delta I_f = O_{18}$



〈그림 3〉 Duty ratio 제어를 위한 추론결과

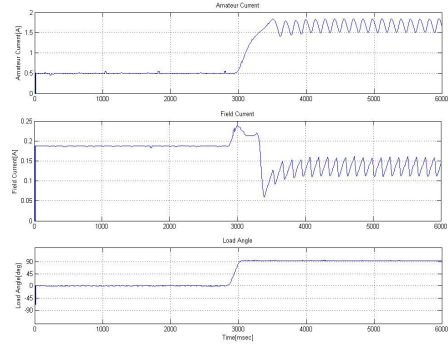
2.3 실험 결과

동기 전동기의 부하각을 검출하여 제어하기 위해 제어 대상인 PWM 펄스의 듀티비로 변화하는 여자전류 I_f , 전자 전류 I_s , 부하각 δ 를 측정하였고, 또한 부하의 변화에 따른 파라미터들의 변화와 퍼지제어에 의한 제어결과를 도시하였다.



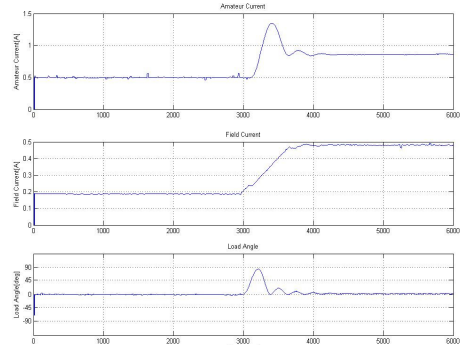
〈그림 4〉 부하 인가시 파라미터 변화

그림 4는 무부하로 운전중인 동기전동기에 약 300[Ω]의 부하를 인가하였을 때 여러 특성을 측정하여 도시하였다. 첫 번째 과정은 전자 전류 I_s 의 변화를 나타내었는데, 약 0.5[A]로 운전 중 부하의 변화로 인해 0.8[A]가까이 상승하였으나, 퍼지 부하각 제어기에 의해 다시 감소함을 보였고, 두 번째 과정은 부하가 증가함에 따라 벌어지는 부하각을 제어하기 위해 여자전류 I_f 가 약 0.2[A]에서 0.48[A]로 증가함을 알 수 있었다. 세 번째 과정은 부하인가로 인해 부하각이 약 35° 정도 벌어졌다가 퍼지제어로 인해 다시 0°에 수렴하여 안정된 운전을 함을 알 수 있었다.



〈그림 5〉 과 부하로 인한 난조현상

그림 5는 동기전동기가 안정된 상태로 운전중 과부하 인가로 인해 부하각이 90°이상이 되어 동기이탈이 된 상태를 도시하였다. 이로인해 전자 전류 I_s , 여자전류 I_f 가 계속하여 진동하여 불안정한 상태가 유지되었다.



〈그림 6〉 퍼지 제어기에 의한 난조현상 방지

그림 6은 그림 5의 조건에서 운전중 퍼지 부하각 제어기에 의해 동기이탈 현상을 방지하여 과부하의 인가에도 불구하고 부하각은 원래대로 복귀하여 동기전동기가 안정된 운전을 하고 있음을 알 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 동기 전동기의 안정된 운전에 영향을 미칠 수 있는 부하각을 검출하여 퍼지 제어기에 의해 제어하도록 하였다. 실험결과에 나타난 것처럼 부하의 변화에도 물론, 과부하로 인한 동기이탈의 현상에서도 퍼지제어기에 의한 안정된 운전이 가능함을 입증하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이준탁, "Lyapunov 函數에 의한 交流電動機의 安定度解析에 관한 研究", 박사학위논문, 중앙대학교, 1988
- [2] 송호신, "자기 조정 퍼지 제어기에 의한 유도전동기의 가변속 운전", 박사학위논문, 동아대학교, 1993.
- [3] 강만원, "동기전동기의 정상상태 특성해석", 대전공업대학 논문집 제13권