

퍼지제어기를 이용한 스위치드 리렉坦스 전동기의 속도제어

김창현^o, 권영안, 김철우
부산대학교

Variable Speed SRM Drive System with Fuzzy Controller

C H Kim, Y A Kwon, C U Kim
Pusan National University

Abstract : Switched reluctance motor drive system is well known as a variable speed drive system because it has a simple motor structure and a simple driving circuit. Widely slotted photo interrupter has been investigated as a position sensor for SRM speed control because it has advantages of low cost and simple structure. However it has low resolution and it produces dead-time signal. This paper studies variable speed SRM drive system with slotted photo-interrupter. Controller in this study is constructed by using fuzzy controller that covers system nonlinearities and small perturbations in sufficiency. The performance of this system is evaluated through computer simulation and experiment results.

1. 서론

종래의 회전기는 mutual torque를 극대화하기 위하여 연속 여자 방식을 취하고 있지만 스위치드 리렉坦스 전동기는 리렉坦스 토크를 극대화 하는 double salient pole 구조로서 연속여자 방식이 아닌 스위칭여자 방식을 필요로 한다. 따라서 스위치드 리렉坦스 전동기는 venier 효과에 의해 고출력이 가능하며, 구동력 발생시에만 여자하므로 효율향상을 이룰 수 있는 장점을 가진다. 스위칭 여자방식은 상전류의 점호시점 및 소호시점을 제어하는 방식으로서 위치센서가 필요하게 되는데 근래에는 구조가 간단한 photo interrupter를 사용하는 연구가 이루어지고 있다. 이 센서는 저가격, 간단한 구조등의 장점을 가지나 해상도가 낮고 dead-time을 발생하여 단순 PID제어기에 의한 속도제어에는 문제점을 가진다. 본 연구에서는 photo interrupter를 사용하는 스위칭 여자 운전방식에서 시스템의 비선형 및 섭동을 만족스럽게 극복하는 퍼지제어기를 사용하여 가변속제어에 적합한 퍼지제어시스템을 구성하며 컴퓨터 시뮬레이션 및 실험결과를 통하여 본 시스템의 성능을 평가한다.

2. SRM 모델

그림 1은 본 연구에서 사용된 10마력 스위치드 리렉坦스 전동기로서 3상 12/8극수를 가진다.

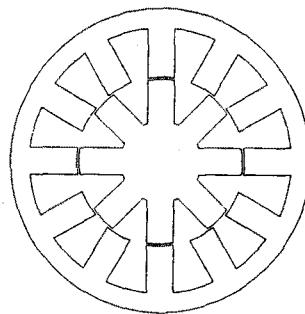


그림 1. 10마력 3상 12/8극 SRM의 단면

그림 1에서 보는 바와 같이 SRM은 회전자와 고정자가 돌곡형의 구조를 하고 있어서 회전자의 위치에 따라 공극의 자기저항이 달라진다. 자기저항의 변화는 공극에 저장된 에너지의 변화를 초래하여 변화분 만큼 기계적인 에너지로 바뀌게 된다. 이때 발생하는 순시 토크는 자기포화를 고려하지 않은 경우에 식(1)과 같이 된다.

$$T = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N \frac{dL_k(\theta)}{d\theta} i_k^2 \quad (1)$$

단. N = 상수(phase number)

식 (1)에서 인덕턴스의 변화분이 양일 경우 정토오크가 발생하고 인덕턴스의 변화분이 음일 경우 부토오크가 발생한다. 그림 2는 SRM에서 자기포화를 고려하지 않는 경우에 회전자 위치에 따른 인덕턴스 곡선을 나타낸다.

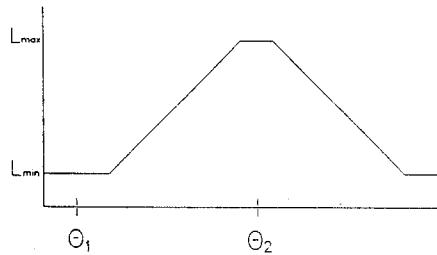


그림 2. 회전자의 위치에 따른 인덕턴스 곡선

SRM에서 전압-전류 관계식은 식(2)와 같다.

$$V_d = Ri + w_r \frac{d\lambda}{d\theta} \quad (2)$$

단, V_d : 직류링크 전압

R : 상권선 저항

i : 상권선 전류

w_r : 회전자의 각속도

$$\lambda = L(\theta)i$$

식(1), (2) 및 그림 2에서 알 수 있는 바와 같이 발생 토오크는 그림 2의 회전자 위치 θ_1 및 θ_2 사이에서 결정되는 점호각 및 소호각에 의해 그 크기가 달라지게 된다. 그리고 이를 제어하기 위해서는 회전자 위치 검출이 필수적인데 본 연구에서는 절대형 엔코더나 중감형 엔코더 대신으로 스롯 형태의 photo-interrupter를 사용하였다. photo-interrupter는 저가격 및 구조가 간단한 장점을 가진다.

그림 3은 회전자의 위치에 따라 발생하는 photo-interrupter의 신호와 본 연구에서 사용된 10마력급 SRM의 회전자 위치에 따른 인덕턴스 곡선을 나타낸다.

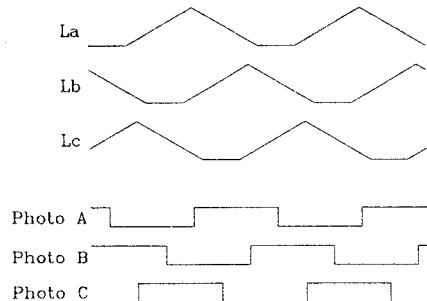


그림 3 photo-interrupter신호 및 인덕턴스 곡선

3. 구동시스템 구성

본 연구에서는 상권선의 점호각 및 소호각을 제어하기 위해 PI-type의 퍼지제어기를 설계 하였으며 블록선도는 그림 4와 같다.



그림 4. 퍼지제어기 블록선도

또한 중감형 엔코더나 절대형 엔코더에 비해 photo-interrupter의 해상도가 뛰어지는 점을 보완하기 위해 speed counter와 position counter를 사용하여 정밀한 제어가 이루어 지도록 하였다. 전체 시스템의 구성도는 그림 5와 같다.

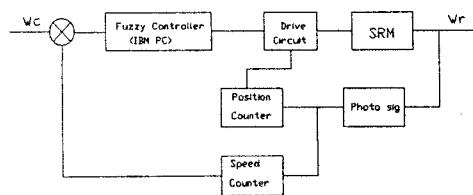


그림 5. 시스템 구성도

4. 퍼지 제어규칙 및 소속함수

4.1 제어규칙

퍼지제어기의 입력을 오차(E_n)와 오차의 변화분(dE)으로 하고 출력변수(dU)는 제어량의 변화분으로 하였다.

오차(E_n) : 설정 속도(V_c) - 전동기 속도(V_r)

오차의 변화분(dE) : $E_n - E_{n-1}$

출력변수(dU) : $U_n - U_{n-1}$

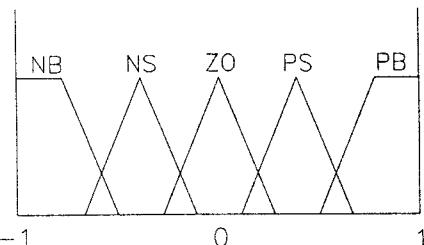


그림 6. 오차와 오차의 변화량 및 출력변수의 소속함수

퍼지제어기에 사용된 소속 함수는 그림 6과 같이 NB와 PB의 구간을 크게 하여 속응성 있는 시스템이 되도록 하였다. 그리고 오차 및 오차 변화분은 스텝입력과 측정량을 비교하여 얻어지며 출력변수를 제어하는 제어규칙은 식(3)과 같다.

$$R_i = E \text{ is } A1(x_1) \text{ and } dE \text{ is } A2(x_2) \text{ then } dU \text{ is } B(y) \quad (3)$$

표 1은 선정된 제어규칙을 나타낸다. 표 1에서 제어규칙은 각각의 위치에 따른 오차와 오차의 변화분 및 출력을 토대로 하여 선정한 것이다.

표 1. 제어규칙

Rule NO.	E	dE	dU
1	PB	ZO	PB
2	ZO	NB	NB
3	NB	ZO	NB
4	ZO	PB	PB
5	PS	ZO	PS
6	ZO	NS	NS
7	NS	ZO	NS
8	ZO	PS	PS
9	ZO	ZO	ZO
10	NS	NS	NS
11	NS	PS	NS
12	PS	NB	NS
13	PB	NS	PS
14	PS	PS	PS
15	PS	PB	PB

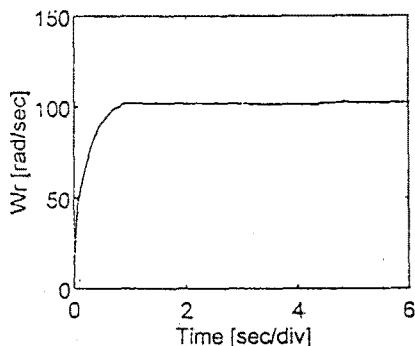


그림 7. 저령속도 1000rpm에서 속도추종

4.2 퍼지추론 및 비퍼지화

퍼지추론은 실제의 입력 (x_1, x_2) 이 주어졌을 때 적용되는 제어규칙에 따라 출력을 계산하는 과정이다. 본 연구에서는 Mandani가 제안한 최대 최소법을 사용하였다. 즉 한개의 입력 변수 (x_1, x_2) 에 대해 적용되는 각각의 제어규칙에 의한 출력의 최대값으로 이루어지는 퍼지집합을 식(4)와 같이 구성하였다.

$$R(x_1, x_2, y) = \max [R_1(x_1, x_2, y) \vee R_2(x_1, x_2, y) \dots \\ R_n(x_1, x_2, y)] \quad (4)$$

단, $R_i(x_1, x_2, y) = E(x_1) \wedge dE(x_2) \wedge dU(y)$

그리고, 식(4)와 같은 퍼지추론의 결과로서 구해진 값을 비퍼지화 하기 위하여 본 연구에서 사용하는 비퍼지화의 방법은 무계중심법으로서 식(5)와 같다.

$$dU = \frac{\sum_{i=1}^N \mu(w_i) \cdot w_i}{\sum_{i=1}^N \mu(w_i)} \quad (5)$$

단, N : 제어규칙의 수

$\mu(w_i)$: 소속함수

5. 시뮬레이션 및 결과

일반적으로 퍼지제어에서 퍼지추론이나 비퍼지화에 걸리는 계산시간의 문제점때문에 실시간 제어에 상당한 어려움이 따른다. 본 연구에서는 오차량과 오차량의 변화분을 정규화하고 이를 look up table화 하여 실시간 제어에 적합하도록 하였다. 그림 7과 그림8은 저령속도가 1000rpm일때의 속도추종결과와 전류파형을 나타낸다.

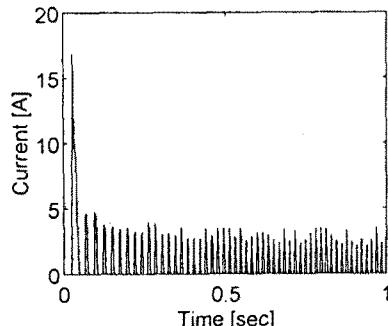


그림 8. 과도상태에서 전류파형

6. 결론

SRM 구동시스템의 위치센서로서 photo-interrupter는 저가격 및 구조가 간단한 장점을 가진다. 본 연구에서는 photo-interrupter를 사용하는 스위칭 여자운전방식에서 이 센서가 가지는 낮은 해상도와 dead-time에 대한 문제를 극복하기 위하여 퍼지제어기를 사용하는 가변속 구동시스템을 구성하였으며 본 결과에서 나타난 바와 같이 속도제어 성능이 우수함을 보이고 있다.

참고문헌

1. P. J. Lawrenson et al., "Variable-speed switched reluctance motor," Proc. Inst. Elec. Eng., vol. 127, pp. 253-265 July 1980
2. B. K. Bose, Timothy J. E. Miller, Paul M. Szczency, and W. H. Bicknell, "Microcomputer control of Switched Reluctance Motor," IEEE Ind. Appl., vol. 4, pp 708-715 July 1986
3. R. c. Becerra, M. Ehsani, T. J. E. Miller., "Commutation of SR Motor," IEEE Ind. Appl., vol. 8, pp 257-263, July 1993
4. 菅野道夫, "퍼지제어시스템," 대영사, 1990
5. M. Jamshidi, N. Vadiee, T. J. Ross, "Fuzzy Logic and Control," Prentice Hall, 1993