

브러시리스 전동기 제어를 위한 퍼지제어 PWM

°진 명 철* 이 광 원*
* 아주대학교 제어계측공학과

A PWM method using fuzzy logic for brushless motor drives

Myung-Churl Chin Kwang-Won Lee
A-JOU Univ. Dept. of Control & Instrumentation Eng.

Abstract - In this paper, a new PWM method and estimating means of rotor position angles for BLDC motor drive are presented. The rotor position angles is predicted by calculated rotor flux from the stator voltage and current signals. The current control PWM using fuzzy logic is also suggested. Performance of the proposed controller is observed through a simulation.

1 서론

브러시리스 전동기는 회전자 자속에 수직인 횡축 전류를 제어하므로써 토크를 제어할 수 있다. 횡축 전류방향은 회전자 자속의 회전과 동기되므로 회전과 위치를 검출하여 고정자 각상의 기준 전류 파형을 만들어 제어하거나, 각상의 전류와 회전자 위치 신호로부터 횡축 전류를 계산하여 제어하는 방법등이 많이 이용되고 있다. 이 경우 고정자 전원은 인버터로부터 공급되므로 PWM이 필요한데 일반적으로 전류 제어 PWM 방식이 많이 이용되고 있다. 본 논문에서는 퍼지 논리를 이용하여 구조가 크게 복잡하지 않는 전류 제어를 제시하고자 한다.

다. 또한 브러시리스 전동기의 제어에 있어서 회전자 위치는 일반적으로 인코더를 이용하여 검출한다. 위치제어인 경우를 제외하고는 회전자 위치는 상변환만을 위하여 이용되므로 이 경우 인코더없이 회전자 횡축의 위치를 인버터의 스위칭 상태와 전류로부터 계산에 의하여 간접적으로 검출하여 이용할 수 있다.

본 논문에서는 회전자 위치를 회전자 자속의 크기를 간접적으로 검출하는 방법을 이용하여 얻는 구조를 제시하였다.

2 퍼지 제어 PWM

브러시리스 전동기의 전압-전류식은

$$V = R \cdot i + L \frac{d}{dt} i + e \quad (1)$$

이다. (1)식을 회전자 자속에 대하여 변환하면

$$\begin{aligned} V_d &= R \cdot i_d + L \frac{d}{dt} i_d - L \omega_e \cdot i_q \\ V_q &= R_s \cdot i_q + L \frac{d}{dt} i_q + L \omega_e \cdot i_d + K_e \cdot \omega_r \end{aligned} \quad (2)$$

이된다. 기준 전류를 i^* 라하면

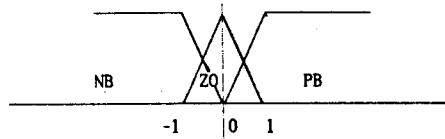
$$\begin{aligned} e_d &= (-i_d) / \Delta I_{max} \\ e_q &= (i^* - i_q) / \Delta I_{max} \end{aligned} \quad (3)$$

이된다.

이때 전류 오차를 0 으로 하기 위한 제어 규칙을 식 (4)와 같이 생각한다.

- i) 만약 e_q 가 PB이면, $\Delta u = +1$
- ii) 만약 e_q 가 NB이면, $\Delta u = -1$
- iii) 만약 e_q 가 ZO이면, $\Delta u = \frac{1}{2} [e(k) - e(k-1)]$

여기서 PB, NB, ZO는 e 에 대한 퍼지 변수이며 그림 1과 같이 주어진다.



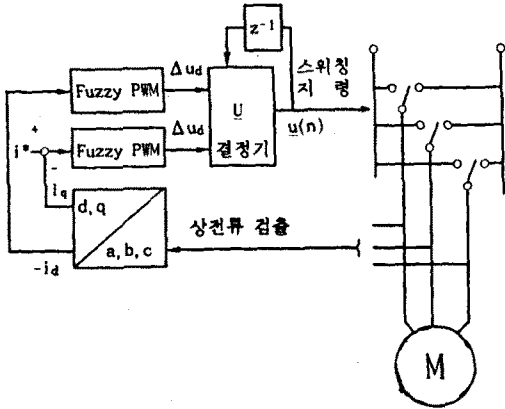
[그림 1] e 에 대한 퍼지 변수

각각의 제어 규칙의 적합도를 w_1, w_2, w_3 라하고 각 규칙의 Δu 를 $\Delta u_1, \Delta u_2, \Delta u_3$ 라하면

$$\Delta u = \frac{\sum w_i \cdot \Delta u_i}{\sum w_i} \quad (5)$$

에 의하여 추론 결과를 얻을 수 있다.

식 (4), (5)에 의한 제어기의 구조를 그림 2와 같다.



[그림 2] 퍼지 제어 PWM 제어기의 구조

3. 회전자 자속의 검출

회전자 위치는 인버터의 공급 전압과 각상의 전류를 이용하여 각상의 회전자 자속의 크기를 검출하므로써 얻을 수 있다. 전동기의 전압-전류 벡터식으로부터 고정자 α - β 축 전압-전류식은

$$V_\alpha = R \cdot i_\alpha + L \frac{d}{dt} i_\alpha + e_\alpha$$

$$V_\beta = R \cdot i_\beta + L \frac{d}{dt} i_\beta + e_\beta \quad (6)$$

이 된다. 식(6)으로부터

$$e_\alpha(s) = (R + Ls) \left[\frac{V_\alpha(s)}{R + Ls} - I_\alpha(s) \right]$$

$$e_\beta(s) = (R + Ls) \left[\frac{V_\beta(s)}{R + Ls} - I_\beta(s) \right] \quad (7)$$

이 된다. 회전자 자속은

$$\Phi_\alpha(s) = \frac{1}{s} \left[e_\alpha(s) \cdot \omega_r + \Phi_\alpha(0) \right]$$

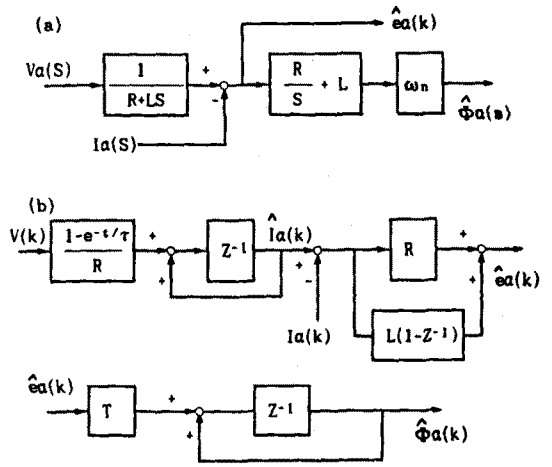
$$\Phi_\beta(s) = \frac{1}{s} \left[e_\beta(s) \cdot \omega_r + \Phi_\beta(0) \right] \quad (8)$$

이 된다. α -축에 대한 회전자 자속각을 θ_d 라하면

$$\cos \theta_d = \Phi_\alpha / \Phi_m$$

$$\sin \theta_d = \Phi_\beta / \Phi_m \quad (9)$$

이므로 식 (7), (8)로부터 회전자 위치에 대한 정보를 얻을 수 있다. 그림 3은 회전자 자속 검출기의 연속치 계통과 이산치 계통에 대한 구조를 나타낸다.



[그림 3.] 회전자 자속 검출기의 구조

a) 연속치 계통 b) 이산치 계통

식 (8)로부터 고정자 전류의 d-축과 q-축 성분은

$$\Phi_\alpha \cdot i_\alpha + \Phi_\beta \cdot i_\beta = i_d \cdot \Phi_m$$

$$\Phi_\alpha \cdot i_\beta - \Phi_\beta \cdot i_\alpha = i_q \cdot \Phi_m \quad (10)$$

과 같이 얻어지고, 기준 전류의 α -축, β -축 변환은

$$\Phi_m \cdot i_\alpha^* = -\Phi_\beta \cdot i^*$$

$$\Phi_m \cdot i_\beta^* = -\Phi_\alpha \cdot i^* \quad (11)$$

로 주어진다.

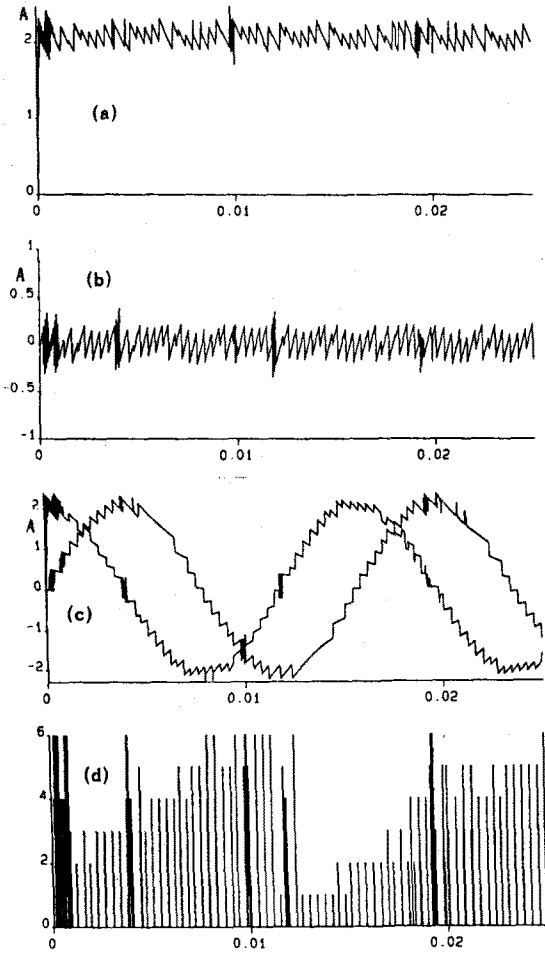
4. 시뮬레이션

본 연구에서 제시한 회전자 자속 검출기와 퍼지 PWM 제어기의 성능을 검토하기 위하여 표 1의 상수를 갖는 브러시리스 전동기를 모델로하여 시뮬레이션 하였다.

[표 1.] 전동기 상수

| | |
|----------|--------------------------------|
| 정격 속도 | 2000 rpm |
| 극 수 | 8 |
| 정격 전류 | 4.2 A |
| 정격 토크 | 1.0 N-m |
| 전기자 저항 | 0.95Ω |
| 전기자 인덕턴스 | 2.3 mH |
| 회전자 관성 | 3.6 Kg-cm ² |
| 토크 상수 | 0.33 N-m/Arms |
| 역기전력 상수 | 0.11 V _{rms} -sec/rad |

그림 4는 1/2 정격 부하의 기준 전류에 대한 100 rad/sec 속도에서의 시뮬레이션 결과이다.
 i_d 와 i_q 가 허용 오차폭 내에서 잘 유지됨을 볼 수 있다.



[그림 4.] 1/2 정격 부하의 기준 전류에 대한 응답
 (a) i_q (b) i_d (c) α - β 축 전류 (d) 스위치 상태

5. 결론

회전자 자속 검출기로 회전자 위치를 검출하고 퍼지 PWM 제어기로 전류류 제어하는 브로시리스 전동기의 전류 제어기를 제시 하였다. 앞으로 디지털 신호 처리 process를 이용하여 제어기를 구성하여 실험적으로 제어기의 성능에 대한 검토가 요구된다.

참고문헌

- [1] Bose, B. K., Power electronics and ac drives, Prentice-Hall, New Jersey, 1986
- [2] K.F.da Silva, "Vector Control in Synchronous Machine Drives", IECON'91, pp.177-181, 1991
- [3] M. A. Dzieniakowski "Novel Space Vector Based Current Controllers for PWM-Inverters", IEEE Trans. POWER ELEC., vol6, No.1, pp.158-165, 1991
- [4] Carlo Cecati : "Vector control algorithms implementation for inverter-fed permanent magnet synchronous motor using transputer", IECON'91, pp.171-176, 1991