

퍼지제어를 이용한 전기자동차용 PMSM의 영속도 제어방법

유동호*, 박진호*, 이정호*, 정두용*, 최준혁**, 원충연*
 성균관대학교*, 전자부품연구원**

Zero Speed Control Method of a PMSM for Electric Vehicles using Fuzzy Control

Dong Ho Yu*, Jin Ho Park*, Jung Hyo Lee*, Doo Yong Jung*, Jun Hyuk Choi**, Chung Yuen Won*
 Sungkyunkwan University*, Korea Electronics Technology Institute(KETI)**

ABSTRACT

본 논문에서는 퍼지제어를 이용한 전기자동차용 영구자석 동기전동기의 영속도 제어 기법에 관하여 기술한다. 전기자동차가 언덕길 위에 정지한 상태에서 다시 출발할 경우에 차량이 뒤로 밀리는 현상이 발생한다. 따라서 탑승자의 안전과 편안함을 위해서 운전자의 브레이크 지령에 대한 제어기의 영속도 지령 수령 시, 차량은 움직이지 않고 계속 정지한 상태가 되어야 한다. 본 논문에서는 속도제어와 전류제어를 수행하기 위하여 기존의 PI제어기 대신 퍼지제어기를 적용해 영속도 제어를 수행하였다. 제어 성능은 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

1. 서 론

차량은 경사로에서 정지 후 재출발 시 차량의 무게와 경사각에 비례하여 진행방향 혹은 역방향으로 힘이 가해지며, 운전자가 차량의 가속페달을 밟기 전에 짧은 시간 동안 이 힘으로 인해 차량이 뒤로 밀리는 현상이 발생하게 된다. 이러한 문제점은 운전자의 편안함과 안전에 영향을 주며 사고의 위험이 존재한다. 따라서 이러한 문제점을 보완하기 위하여 일반적으로 전기 차량에서는 모터브레이크 알고리즘을 사용하게 된다.

PMSM의 모터브레이크는 속도제어기의 영속도 지령을 통하여 구현되며 기존의 속도제어기는 PI제어기를 사용하였다. 하지만 PI제어기는 시스템의 정확한 수학적 모델링을 필요로 하며, 임의의 온도 변화와 부하 변화 등에 의한 파라미터 변동으로 인해 정확한 수학적 모델링이 힘들다. 본 논문에서는 이러한 점을 보완하기 위하여 파라미터 변동과 외란에 강인한 비선형제어기로서 퍼지제어기를 사용하여 문제점을 해결하였으며, 이를 MATLAB/Simulink를 이용하여 검증하였다.

2. 기존의 PI제어를 사용한 속도 제어기

일반적으로 속도제어기의 대역폭은 응답성이나 안정성을 고려하여 전류제어기에 영향을 주지 않기 위해서 설계하고, 속도 제어 시스템의 폐루프 전달함수 $G_s^o(s)$ 는 식(1)과 같다.

$$G_s^o(s) = \frac{\frac{K_T K_{ps}}{J} s + \frac{K_T K_{is}}{J}}{s^2 + \frac{K_T K_{ps}}{J} s + \frac{K_T K_{is}}{J}} \quad (1)$$

식(1)의 속도제어기의 감쇠비 ζ 는 1보다 크므로 과감쇠가 일어나지만 전달함수 분자의 영점에 영향으로 오버슈트가 발생한다. 이러한 오버슈트는 모터브레이크에 영향을 주어 안정성에 문제를 발생시킨다.^[1]

3. 모터브레이크를 위한 퍼지 제어기

퍼지 제어는 기존의 PI 제어기를 대신하여 속도 및 전류제어에 사용할 수 있으며, 파라미터 변동과 외란의 영향에 강인한 특성을 갖는다. 그림 1은 퍼지제어기를 사용한 속도제어기를 포함한 시스템 구성을 나타낸다.

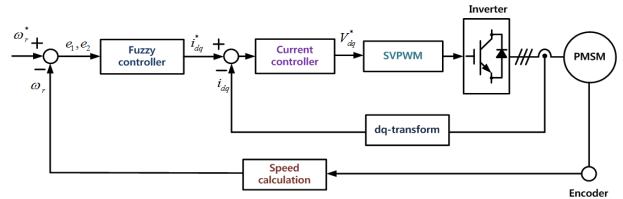


그림 1 퍼지제어기를 사용한 속도제어 시스템 블록 다이어그램
 Fig. 1 Block diagram of speed control system using on fuzzy controller

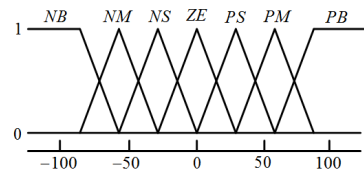
퍼지 제어기의 동작원리는 우선 입력 변수로 속도 오차 e_1 과 속도오차의 변화율 e_2 를 입력으로 선정하고 출력은 전류제어기로 입력되는 전류지령 i_q^* 로 한다.

$$e_1(k) = G_1(\omega_r(k) - \omega_r(k-1)) \quad (2)$$

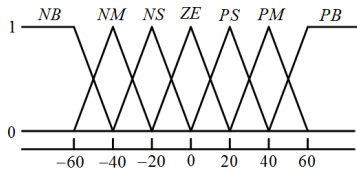
$$e_2(k) = G_2(e_1(k) - e_1(k-1)) \quad (3)$$

$$i_q^*(k) = i_q(k-1) + G\Delta i_q(k) \quad (4)$$

다음으로 소속 함수를 그림 2와 같이 결정하였으며, 삼각형 소속 함수를 사용하였다.



(a) 속도오차에 대한 입력 소속 함수



(b) 속도오차 변화에 대한 소속 함수

그림 2 소속 함수 (a) 속도오차에 대한 입력 소속 함수 (b) 속도 오차 변화에 대한 소속 함수

Fig. 2 Membership function (a) input membership function of speed error (b) input membership function of derivative speed error

위와 같은 소속 함수를 기준으로 규칙을 설정하여 추론을 통해 토크 발생 전류를 출력하게 되며, 퍼지 로직을 이용한 속도제어기의 구성은 그림 3과 같다.^[2, 3]

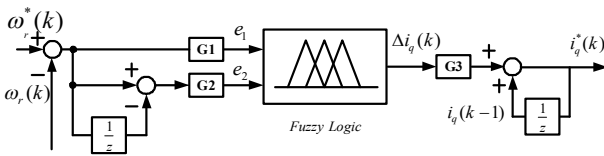


그림 3 퍼지로직을 이용한 속도제어기

Fig. 3 Speed controller using on fuzzy logic

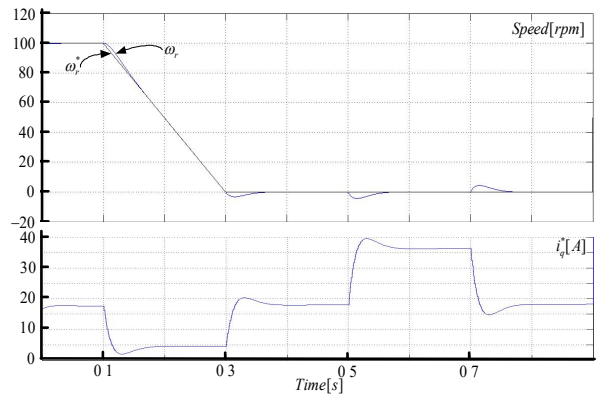
4. 시뮬레이션 결과

제안된 퍼지제어를 이용한 속도제어기의 성능을 검증하기 위하여 MATLAB/Simulink와 FIS기능을 이용하였다. 표 1은 시뮬레이션에 사용된 PMSM의 파라미터를 나타낸다. 모터가 구동중인 가운데 영속지령에 의해 속도가 0이 되도록 하였고, 이후에 부하토크의 변화를 주었을 때 영속을 유지하는 과도상태를 최적의 PI 제어기와 비교 하였다.

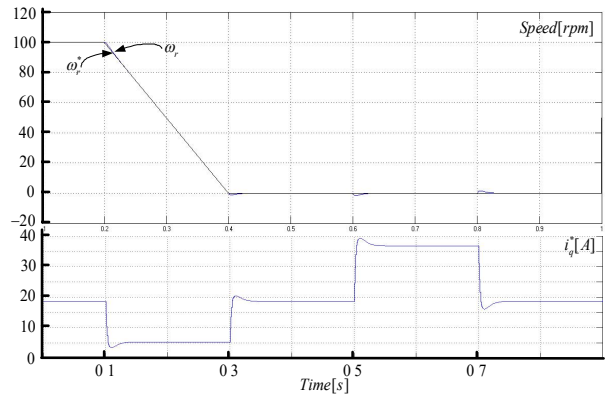
표 1 PMSM 파라미터
Table 1 PMSM parameters

상저항(R_s)	466	[$m\Omega$]
상인덕턴스(L_d)	8.65	[mH]
상인덕턴스(L_q)	8.65	[mH]
회전자자속(λ_f)	0.981	[Wb]
정격속도	190	[rpm]
정격용량	13.3	[kW]
정격토크	670	[Nm]
정격전류	27.2	[A]

그림 4는 모터브레이크 동작 특성을 PI제어와 퍼지제어를 수행하여 얻은 시뮬레이션 결과 과형이다. 4(a)는 PI 제어기를 이용한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 영속지령을 통해 정지 상태를 유지하면서 받게 되는 외란에 대한 응답 특성이 PI제어기의 단점을 그대로 반영하게 되는 것을 알 수 있다. 그러나 그림 4(b)의 퍼지제어기를 이용한 결과는 영속지령 상황에서 부하가 변동하여도 영속을 유지하기 위한 속도응답의 과도특성이 4(a)의 PI제어기에 비하여 우수한 것을 확인 할 수 있다.



(a) PI제어기를 이용한 속도제어기



(b) 퍼지제어기를 이용한 속도제어기

그림 4 시뮬레이션 결과 (a) PI제어기를 이용한 속도제어기 (b) 퍼지제어기를 이용한 속도제어기

Fig. 4 Simulation result (a) Speed controller with PI (b) Speed controller with fuzzy

5. 결론

본 논문에서는 전기차량의 모터브레이크를 위해 기존의 PI 제어기를 이용한 속도제어기를 퍼지제어기로 대체하였다. 오버슈트가 발생하는 PI제어기는 영속지령 하에서 부하 변동 시에 오버슈트를 발생시켜 운전자의 안전에 영향을 주지만 제안된 퍼지제어기를 이용할 경우 그러한 문제점이 보완되는 것을 시뮬레이션을 통하여 입증하였다.

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2011 0015584)

참고 문헌

- [1] 김상훈, "DC, AC, BLDC 모터제어", 북두출판사, 2010.
- [2] J.S Yu, S.H Kim, B.K Lee, C.Y Won, J Hur, "Fuzzy Logic Based Vector Control Scheme for Permanent Magnet Synchronous Motors in Elevator Drive Applications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 54, no. 4, pp. 2190-2200, Aug. 2007.
- [3] S.N. Sivanandam, S. Sumathi and S.N. Deepa, *Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB*: ISBN 10 3 540 35780 7 Springer Berlin Heidelberg, New York.