

적용 백스텝핑 제어를 이용한 스위치드 릴럭턴스 전동기 속도제어기 연구

오주환, 이진우, 권병일
한양대학교 대학원

Speed controller study of Switched Reluctance Motor using An Adaptive Backstepping Control

Juhwan Oh, Jinwoo Lee, Byungil Kwon
Graduate School in Hanyang University

Abstract - In this paper, a backstepping speed controller applied in SRM is presented. The driver of SRM is generally planned with a PI controller. A PI controller is becomes a satisfied structure in the system. it is used in position and speed control loops. However, when the system parameter uncertainties large inertia and load disturbance, it will not be able to expect a satisfied efficiency. Therefore, a backstepping control law was researched, which is able application even to a linear system as well as a nonlinear and it is more excellent than a origin adaptive control law. In this paper, a backstepping control law applied the drive system of SRM was used in the drive controller. The computer simulation result clearly show that the applied backstepping controller can track the speed reference signal generated by internal signals.

1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 전동기(SRM)는 성능면에서 고효율 및 넓은 운전범위를 갖으며, 구조적인 면에서 간단한 전기자기적인 구조로 이루어져 있다. 최근 전력용 반도체 소자의 기술 개발이 급속히 이루어짐에 따라 SRM 드라이버는 고유의 직류기와 교류기 드라이버보다 더욱 간단하고 견고한 많은 장점을 가지고 있다.[1] 이러한 구동 드라이버의 위치 및 속도 제어기는 대부분 PI 제어기로 설계되어 있어서, 불확실한 큰 관성 및 부하로 인한 빠른 기준속도변화에 대한 실제속도의 수렴성은 감소하기 때문에 근래에는 기준속도변화에 대한 빠른 응답성을 갖는 백스텝핑 제어방법이 연구되고 있다.[2][3] 이런 제어 방법 또한 다수의 이득(Gain)설정이 요구되고 정상상태에서 제어입력 변수간의 오차성분이 항상 일정하지 않고 순시적으로 변하기 때문에 많은 떨림 현상이 발생한다.

본 논문에서는 다수의 제어이득(Gain)을 줄이고 기준 속도 변화에 빠른 속도 수렴성을 갖기 위해 백스텝핑 제어이론에 기본을 둔 개선된 적용 백스텝핑 제어방법을 SRM시스템에 적용하였다. 적용된 제어방법은 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 기존의 제어방법과 비교 및 검증하였다.

2. SRM 속도제어

2.1 SRM 수학적 모델링

SRM의 속도 및 토크는 회전자의 위치와 상전류에 비례하기 때문에 정확한 위치파악과 전류검출이 필수적이다. 회전자의 위치 및 상전류를 해석하기 위한 SRM 수학적 모델링은 식(1)과 같다.

$$\frac{dx}{dt} = f(x) + g(x)v \tag{1}$$

$$x = [i_s \quad \omega]^T$$

$$f(x) = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L_s} i_s - \frac{1}{L_s} \frac{dL_s}{d\theta} \omega i_s \\ \frac{T_e}{J} - \frac{B}{J} \omega - \frac{T_L}{J} - \frac{K_\theta}{J} \end{bmatrix}, g(x) = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_s} \\ 0 \end{bmatrix}$$

여기서 R 은 권선저항, B 는 마찰계수, v 는 상전압, T_L 은 부하 토크, θ 는 회전자위치, ω 각속도, s 는 고정자 상수(1, 2, 3... n), J 는 관성, T_e 전동기에서 발생된 토크, K_θ 는 강성계수, i_s 는 상전류, L_s 는 상 인덕턴스이다.

위의 식에서 알 수 있듯이, SRM의 직접적인 모델링은 전동기의 속도, 위치 그리고 상전류간의 결합으로 높은 비선형이 존재한다.

2.2 백스텝핑 제어

SRM 시스템의 불확실성 및 외란을 고려한 백스텝핑 제어기 설계는 식(1)을 기초로 하여 이루어진다. 식(1)에서 강성계수 K_θ 는 시스템이 연속적인 회전운동을 할 경우 $K_\theta=0$ 이 된다. 또한, 전동기에 부작된 부하 또는 전동기의 관성을 포함한 총 유효관성 J 로 식(1)의 기계방정식은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다. 회전자가 강체라고 보면 회전자의 미소질량 dM 의 회전 각속도는 회전자 어느 곳이든 같으므로 식(2)는 식(3)과 같이 간략화 된다.

$$T_e = J \frac{d\omega}{dt} - B\omega - T_L \tag{2}$$

$$T_e = \frac{d\omega}{dt} \int_0^M a^2 dM = J \frac{d\omega}{dt} \tag{3}$$

여기서 a 는 회전자의 반지름이다.

제어기의 페루프 내에서 기준 속도 및 위치를 추정하면, 제어기에서 위치 추정오차는 식(4)와 같다.

$$e_1 = \theta_{ref} - \theta \tag{4}$$

미소 시간에 대하여 식(4)는 식(5)와 같이 된다.

$$\frac{de_1}{dt} = \frac{d\theta_{ref}}{dt} - \frac{d\theta}{dt} \tag{5}$$

식(5)에 속도추정오차를 0으로 수렴시키기 위해서 단계 제어법인 백스텝핑 제어방법을 적용하였다. 만약 각속도 ω 가 제어입력이라면 식(6)와 같이 선택되고, 식(5)는 식(7)과 같다.

$$\omega = k_1 e_1 + \frac{d\theta_{ref}}{dt} \tag{6}$$

$$\frac{de_1}{dt} = -k_1 e_1 \tag{7}$$

여기서 k_1 은 양의 상수이다.

각속도 ω 는 제어 시스템 변수이며 기준 제어입력 변수

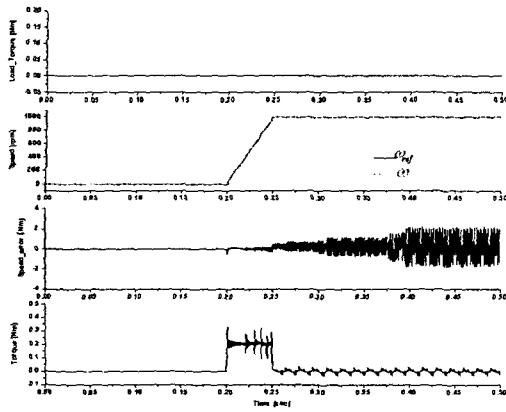


그림 4. 무부하일 때 적응 백스텝핑 제어 응답성

Fig. 4. Response of adaptive backstepping controller no-loading

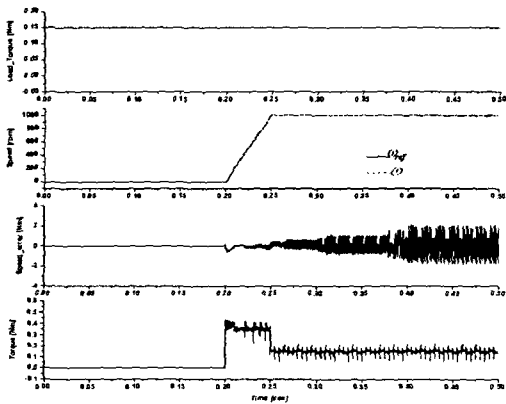


그림 5. 부하인가 시 적응 백스텝핑 제어 응답성

Fig. 5. Response of adaptive backstepping controller loading

3. 결 론

본 연구에서는 기준 제어입력 속도값에 대한 실제 출력 속도값의 오차를 줄이기 위한 제어방법으로 백스텝핑 제어 이론에 기본을 둔 SRM 구동 제어 알고리즘을 제안하였다. 기준속도와 실제속도의 오차는 연속적인 단계 제어방법을 통하여 유도되며, 그 타당성은 시뮬레이션을 통하여 증명하였다.

그 결과 기준 속도변환에 빠른 수렴성과 정상상태에서의 속도 오차를 줄일 수 있었고 속도에 밀접한 관계가 있는 전동기 토크 리플도 감소시킬 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] R. Krishnan, "Switched Reluctance Motor Drives", CRC Press, pp. 1-23, 2001
- [2] Jen te Yu, Jie Chang, "A New Adaptive Backstepping Control Algorithm for Motion Control Systems", IEEE proce., Vol. 1, pp.206-210, April 2002
- [3] J. Zhou and Y.Wang, "Adaptive Backstepping Speed Controller Design for A Permanent Magnet Synchronous Motor", IEEE Proc-Electr. Power Appl., Vol. 149, No 2, pp.165-172, March 2002