

2자유도 제어를 이용한 유도전동기 속도제어

조문택* 이세훈* 이충식* 김영춘** 김은기***
 대원대학* 공주대학교** (주)현대로템***

Speed Controller for an Induction Motor Using a 2DOF Controller

Moon-Taek Cho* Se-Hun Lee* Chung-Sik Lee* Young-Chun Kim** Eun-Gi Kim***
 Daewon University College* Kongju National Univ.** Hyundai-Rotem***

Abstract - 2DOF is applied to induction motor in order to supply these weak points of PI speed control method in this paper, and proposed method utilize the combination of the voltage model based on stator equivalent model and the current model based on rotor equivalent model, which enables stable estimation of rotor flux.

And it also emphasizes the improvement of the control characteristics in low speed region where established schemes have many problems. To prove the propriety of this paper, the various simulations carried out adequacy and stability using Matlab, and at the same time real system is made, so it is proved. As the results of embodying the system, the robust system is realized.

1. 서 론

유도전동기 벡터제어에 있어서 빈번한 속도변경이나 급변하는 부하에 대응하기 위한 노력이 계속 이루어져 왔다. 또한 기존의 PI 속도제어기로서는 속도지령의 스텝변화에 대한 전동기 속도의 응답 오버슈트가 작으면서 동시에 부하토크의 스텝변화에 대한 속도 응답의 회복시간도 짧은 속도제어기를 실현하는 것에는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 제시된 하나의 제어 방식이 2자유도 속도제어기이다[1]-[3].

본 논문에서는 전압·전류 모델 합성 자속 추정기를 통해 저속영역에서와 고속영역에서 각각 다른 모델에 의한 자속을 추정하고 이로부터 자속각을 추정하는 알고리즘을 사용하며, 속도지령의 스텝변화에 대한 전동기 속도의 응답 오버슈트가 작으면서 동시에 부하토크의 스텝변화에 대한 속도 응답의 회복시간도 짧은 2자유도 속도제어기를 사용하였다[4]-[7].

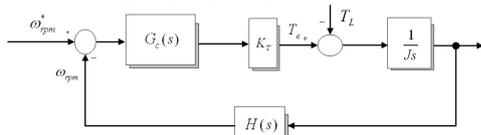
제어시스템 설계에서 벡터제어 알고리즘의 고속 연산처리를 위해 TMS320VC33C DSP를 CPU로 사용하였다. 또한 공간전압벡터 PWM 관련회로나 인터페이스회로 등은 Altara로 처리하여 신뢰성이 높은 시스템을 구성하였다.

제시한 시스템의 유용성을 확인하기 위해 3.7[kW]용량의 농형 유도전동기에 적용하여 시뮬레이션의 편의를 위해 각각의 제어기를 Matlab을 통해 모델링하여 검토하였으며, 부하로는 동일한 용량의 직류발전기를 MG세트로 구성하여 실험에 사용하였다.

2. 2자유도 속도제어기 및 비례적분제어기

2.1 비례적분 속도제어기

속도 PI제어기의 블록선도는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 1] 속도 제어기 블록도

그림 1에서 지령속도 ω_{rpm}^* 에 대한 속도 ω_{rpm} 의 응답 특성은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G_c = \frac{\omega_{rpm}}{\omega_{rpm}^*} = \frac{K_T G_c(s)}{sJ + K_T G_c(s)} \quad (3)$$

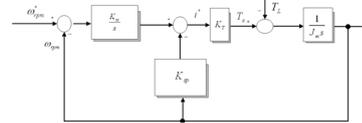
여기서, $K_T = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \frac{L_m}{L_r} \lambda \frac{e^*}{dr}$ 이며, 본 논문에서는 2.2958이

다.

속도 제어기 $G_c(s)$ 는 식 (4)과 같다.

$$G_c(s) = K_{sp} + \frac{K_{si}}{s} = K_{sp} \left(1 + \frac{K_{si}/K_{sp}}{s} \right) = K_{sp} \left(1 + \frac{\omega_{\pi}}{s} \right) \quad (2)$$

그림 4는 IP 속도제어기의 블록도를 보여준다.



[그림 2] IP 속도제어기 블록도

그림 2의 PI 속도제어기의 블록도와 그림 4의 IP 속도제어기의 폐루프 전달함수는 다음 식과 같다.

$$\frac{\omega_{rpm}(s)}{\omega_{rpm}^*(s)} = \frac{K_T K_{sp} s + K_T K_{si}}{J_m s^2 + K_T K_{sp} s + K_T K_{si}} \quad (3)$$

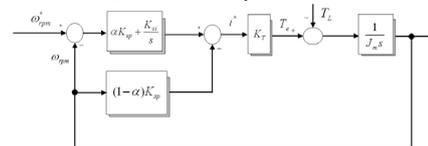
$$\frac{\omega_{rpm}(s)}{\omega_{rpm}^*(s)} = \frac{K_T K_{si}}{J_m s^2 + K_T K_{sp} s + K_T K_{si}} \quad (4)$$

식 (4)의 IP 제어기의 속도 명령에 대한 응답성은 식 (3)의 PI 제어기와 비교해서 분자에 s항이 없다. 그래서 IP 제어기를 사용하면 분자에 dynamics가 없는 시스템 응답을 쉽게 설계할 수 있다.

그러나 두 시스템은 부하토크에 대한 전달함수가 식 (6)과 같이 동일한 형태를 갖기 때문에 외란에 대해서는 동일한 응답특성을 가진다. 이와 같이 PI 속도제어기로서는 속도지령의 스텝변화에 대한 전동기 속도의 응답 오버슈트가 작으면서 동시에 부하토크의 스텝변화에 대한 속도 응답의 회복시간도 짧은 속도제어기를 실현하는 것에는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 제시된 하나의 제어방식이 그림 3에 나타난 것과 같은 구성의 2자유도 속도제어기이다. 이와 같은 속도 제어계를 대상으로 두가지 입력(속도기준값과 부하토크)에 대한 속도응답성을 전달함수로 표시하면 다음 식과 같다.

$$\frac{\omega_{rpm}(s)}{\omega_{rpm}^*(s)} = \frac{K_T (\alpha K_{sp} s + K_{si})}{J_m s^2 + K_T K_{sp} s + K_T K_{si}} \quad (5)$$

$$\frac{\omega_{rpm}(s)}{T_L(s)} = \frac{s}{J_m s^2 + K_T K_{sp} s + K_T K_{si}} \quad (6)$$



[그림 3] 2자유도 속도 제어기 블록도

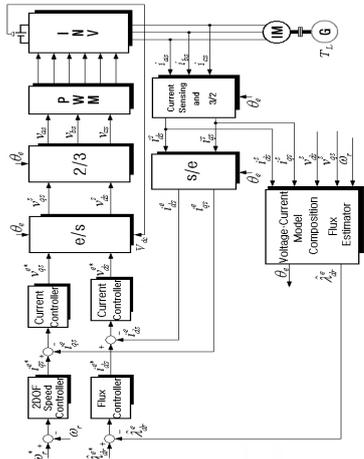
3. 시뮬레이션 및 실험결과

시뮬레이션은 Matlab Simulink를 이용하여 수행하였으며, 각각의 제어기 이득 및 변수들은 M-file를 통해 링크하였다. 또한 2자유도 속도제어기의 특성을 검토하기 위해 제어파라미터 α 의 변화시의 속도 제어 특성을 확인하였으며, 식 (6)를 확인하고자 속도를 100, 400, 1000[r/min]으로 각각 일정하게 유지하고 0.35~0.7[sec] 사이에 부하를 투입하여 회관입력응답특성을 확인하였다.

[표 1] 유도전동기 파라미터

항 목	기 호	값
정격출력	kW	3.7[kW]
정격전압	V	220[V]
정격전류	I	12.9[A]
정격속도	ω_{rpm}	1720[r/min]
극수	P	4극
고정자저항	R_s	0.9210[Ω]
회전자저항	R_r	0.5830[Ω]
고정자 인덕턴스	L_s	0.0671[H]
회전자 인덕턴스	L_r	0.0671[H]
상호 인덕턴스	L_m	0.0650[H]
관성 모멘트	J	0.0418[kg·m ²]
마찰계수	B	0.0045[kg·m ² /s]

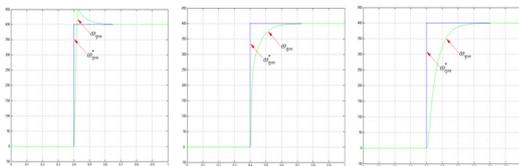
시스템의 구성은 제어보드와 전력회로로 구분할 수 있다. 제어 보드는 전력회로를 구동하고, 전력회로의 동작상태를 나타내기 위한 프로그램을 구현하기 위한 회로로 마이크로프로세서와 인터페이스부로 구성되어 있다. 유도전동기의 파라미터는 표 1에 나타내었으며, 그림 4은 본 논문에 적용한 전체시스템의 블록도를 나타내고 있다.



[그림 4] 제어 시스템 블록도

3.1 속도 제어기

그림 5는 속도지령을 0.4[sec]에서 0에서 400[r/min]으로 스텝가변 하였을 때 2자유도 속도제어기의 파라미터인 α 를 변화 시킨 속도응답 파형이다. 그림 7(a)는 α 를 1로 주었을 때의 응답이며, 그림 7(b)는 α 를 0.5로, 그림 7(c)는 α 를 0으로 하였을 때의 응답특성을 나타낸다.

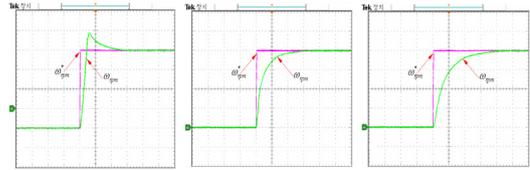


(a) $\alpha = 1$ (b) $\alpha = 0.5$ (c) $\alpha = 0$

[그림 5] 계단 속도변화에 대한 응답(0→400[r/min]) (시뮬레이션)

비례적분속도제어기의 형태로 동작하게 되는 그림 5(a)는 상승시간이 약 30[ms]이며, 오버슈트가 약 50[r/min], 12.5%이며, 정상상태 도달시간은 250[ms]이다. 그림 5(b)는 초기 상승시간은 빠르지만 정상상태에 도달시간은 약 330[ms]이며, 오버슈트는 없다. 또한 적분비례속도제어기의 특성을 보이는 그림 5(c)는 오버슈트는 없으나 정상상태도달 시간이 400[ms]로 가장 느려지게 된다.

그림 6은 이 때의 실험파형이다.

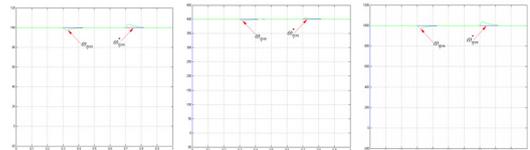


(a) $\alpha = 1$ (b) $\alpha = 0.5$ (c) $\alpha = 0$

Speed:100[r/min]/div, Time:100[msec]/div

[그림 6] 2자유도 속도제어기 응답특성(0→400[r/min]) (실험)

3.1.2 외란입력응답특성



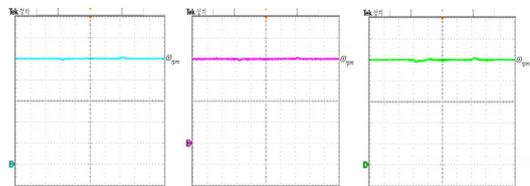
(a) 100[r/min] (b) 400[r/min] (c) 1000[r/min]

[그림 7] 2자유도 속도제어기의 부하응답 특성 (0.3 ~ 0.7[sec] 반부하) (시뮬레이션)

그림 7(a)는 지령속도를 100[r/min]으로 일정하게 유지한 상태에서 0.3~0.7[sec] 사이에 반부하(10[N·m])를 인가하였을 때의 속도응답파형이다. $\alpha = 1$ 인 비례적분속도제어기 경우는 분자의 s항의 계수가 분모의 계수에 연결되어 있어서 오버슈트를 피할 수 없다. 그러나 $\alpha = 0$ 인 적분비례속도제어기의 경우와 마찬가지로 부하토크에 대한 전달함수가 식 (6)과 같이 동일한 형태를 갖기 때문에 외란에 대해서는 동일한 응답특성을 가진다.

그림 7(b)와 그림 7(c)는 각각 지령속도를 400[r/min]과 1000[r/min]으로 일정하게 유지한 상태에서 0.3~0.7[sec] 사이에 반부하(10[N·m])를 인가하였을 때의 속도응답파형이다.

그림 8은 이 때의 실험파형이다.



(a) 100[r/min] (b) 400[r/min] (c) 1000[r/min]

Speed:20[r/min]/div, Time:100[msec]/div, 0.3~0.7[sec] 반부하

[그림 8] 2자유도 속도제어기의 부하응답 특성(100[r/min]) (실험)

4. 결 론

본 논문에서는 속도지령의 스텝변화에 대한 전동기 속도의 응답 오버슈트가 작으면서 동시에 부하토크의 스텝변화에 대한 속도 응답의 회복시간도 짧은 2자유도 속도 제어기를 사용하였으며, 전압·전류 모델 합성 자속 추정기를 통해 저속, 고속에서 각각 다른 모델에 의한 자속을 추정하고, 이로부터 자속각을 추정하는 알고리즘을 사용하여 2자유도속도제어기가 빈번한 속도변경이나 급변하는 부하에 대응하기에 적합함을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] F. Blaschke, "The principle of field orientation as applied to the new transvector closed-loop control system for rotation-field machines", Siemens Review, Vol. 34, pp. 217~220, 1972
- [2] Hideki Hashimoto and Yuko Ohno, "Torque control of induction motor using predictive observer", IEEE, pp.271~278, 1989.
- [3] Ion Boldea and S. A. Nasar, "Electric drives", CRC Press, 1999.