

내부모형조종을 리용한 영구자석동기전동기전류조절기설계의 한가지 방법

리국철, 김명혁

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학연구부문에서는 나라의 경제발전과 인민생활향상에서 전망적으로 풀어야 할 문제들과 현실에서 제기되는 과학기술적문제들을 풀고 첨단을 돌파하여 지식경제건설의 지름길을 열어놓아야 합니다.》

영구자석동기전동기는 CNC공작기계들의 사보장치에서 중요한 역할을 하므로 이에 대한 연구를 진행하는것은 매우 중요하다.

선행연구에서는 비선형모형을 가지는 영구자석동기전동기에서 실시간으로 회전모멘트와 전류조종을 실현하기 위한 한가지 방법[2]과 강한 섭동제거능력과 좋은 지령추정성을 가진 고성능교류사보장치를 실현하기 위하여 전류조절기에 대한 비간섭조종과 속도조절기에 대한 로바스트조종특성을 가진 조절기설계방법[3]을 제안하였다.

본문에서는 내부모형조종을 리용하여 고성능사보조절을 실현하기 위한 연구를 진행하고 Matlab의 Simulink를 리용하여 성능분석을 진행하였다.

1. 영구자석동기전동기전류조절기의 설계

조절기설계를 위하여 아래와 같이 표시되는 회전자리표계에서의 전동기전압방정식[1]을 리용한다.

$$V_d(t) = R_s i_s(t) - \omega_r L_q i_q(t) + L_d \frac{di_d}{dt} \quad (1)$$

$$V_q(t) = R_s i_q(t) - \omega_r L_d i_d(t) + L_q \frac{di_q}{dt} + \omega_r \psi_m \quad (2)$$

여기서 $V_d(t)$, $V_q(t)$ 는 고정자전압, $i_q(t)$, $i_d(t)$ 는 고정자전류, R_s 는 고정자저항, ω_r 는 회전자속도, $\omega_r \psi_m$ 은 역기전력성분이다.

식 (1), (2)에서 보는바와 같이 전압방정식에는 간섭성분인 $\omega_r L_q i_q(t)$, $\omega_r L_d i_d(t)$ 가 존재한다. 즉 d 축과 q 축의 전류와 전압을 입구와 출구로 하는 다변수체계라는것을 알수 있다.

식 (1), (2)를 간단히 표시하기 위해 아래의 식과 같이 보조변수를 리용하자.

$$\begin{cases} V'_q(s) = V_q - \omega_r \psi_m \\ i_q(0) = i_d(t) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

따라서 전동기전압방정식에 대한 전달함수식은 다음과 같다.

$$V_d(s) = (R_s + sL_d)I_d(s) - \omega L_q I_q(s) \quad (4)$$

$$V'_q(s) = (R_s + sL_q)I_q(s) + \omega L_d I_d(s) \quad (5)$$

라플라스변환을 진행하면 체계의 입출구는 각각 다음과 같이 된다.

$$U(s) = \begin{bmatrix} V_d(s) \\ V_q'(s) \end{bmatrix}, \quad Y(s) = \begin{bmatrix} I_d(s) \\ I_q(s) \end{bmatrix} \quad (6)$$

식 (6)을 리용하여 전동기전압방정식을 쓰면 다음과 같다.

$$G(s) = \begin{bmatrix} sL_d + R_s & -\omega_r L_q \\ \omega_r L_d & sL_q + R_s \end{bmatrix}^{-1} = \quad (7)$$

$$= \frac{1}{P(s)} \begin{bmatrix} sL_q + R_s & \omega_r L_q \\ -\omega_r L_d & sL_d + R_s \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$P(s) = s^2 L_q L_d + s(L_d + L_q)R_s + R_s^2 + \omega_r^2 L_d L_q$$

식 (8)을 2개의 성분으로 분할하면 다음과 같이 된다.

$$G^{-1}(s) = \begin{bmatrix} sL_d + R_s & 0 \\ 0 & sL_q + R_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega L_q \\ \omega L_d & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

내부모형구성도에서 내부모형과 실제대상이 완전히 정합된 경우 조절기는 다음과 같다.

$$F(s) = \left[I - \frac{\alpha}{s + \alpha} \right]^{-1} G^{-1}(s) \frac{\alpha}{s + \alpha} = \frac{\alpha}{s} \begin{bmatrix} sL_d + R_s & -\omega L_q \\ \omega L_d & sL_q + R_s \end{bmatrix} = \quad (10)$$

$$= \frac{\alpha}{s} \left(\begin{bmatrix} sL_d + R_s & 0 \\ 0 & sL_q + R_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega L_q \\ \omega L_d & 0 \end{bmatrix} \right) \quad (11)$$

식 (9)를 리용하는 경우 대상은 그림 1에서와 같이 내부비간섭고리를 리용한 축비간섭모형으로 되며 따라서 조절기는 다음과 같이 표시된다.

$$F_{PI}(s) = \begin{bmatrix} K_d \left(1 + \frac{1}{sT_{id}} \right) & 0 \\ 0 & K_q \left(1 + \frac{1}{sT_{iq}} \right) \end{bmatrix} \quad (12)$$

여기서

$$K_d = \alpha L_d, \quad K_q = \alpha L_q, \quad T_{id} = \frac{L_d}{R_s}, \quad T_{iq} = \frac{L_q}{R_s}$$

이다.

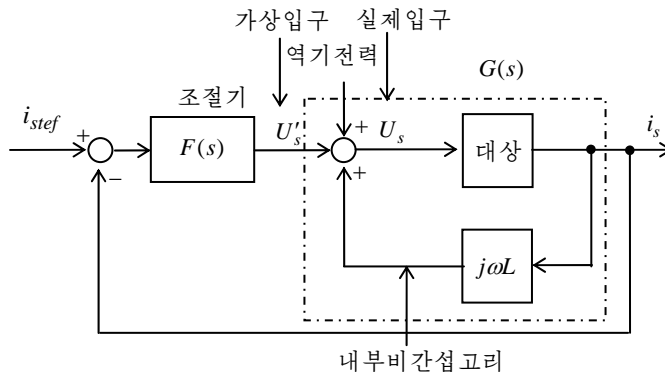


그림 1. 내부비간섭고리를 리용한 축비간섭모형

맺 는 말

론문에서는 내부모형조종에서 전동기의 간섭성분을 제거한 대각선행렬을 리용하여 조절기를 구성하는 방법을 고찰하였으며 Matlab의 Simulink를 리용하여 모의검증을 진행하였다.

참 고 문 헌

- [1] 리덕중; 컴퓨터에 의한 전동기조종, 공업출판사, 91~97, 주체96(2007).
- [2] Ryo Tanabe et al.; IEEJ Journal IA, 5, 2, 167, 2016.
- [3] Guchuan Zh et al.; IEEE Trans on IE., 47, 2, 346, 2000.

주체107(2018)년 2월 5일 원고접수

A Method of Current Controller Design for Permanent-Magnet Synchronous Motor Using Internal Modeling Control

Ri Kuk Chol, Kim Myong Hyok

In this paper, we considered a controller design method using diagonal matrix which was free of disturbance component of motor in internal modeling control, and carried out a simulation verification using Simulink of Matlab.

Key words: Permanent-Magnet synchronous motor, current controller design, internal modeling control