2001년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2001.7.18-20

유도전동기를 이용한 부하장치 구현에 대한 연구

함년근*, 최기수**, 김대균*, 오봉환***, 이훈구****, 김용주*****, 한경희*

명지대학교*, (주)인텍FA**, 명지전문대학***, 용인송담대학****, 동양공업 전문대학*****

A Study of Load System Implementation of using the Induction Motor

Nyun-kun Hahm*, Gi-soo Choi**, Dea-gun Kim*, Bong-hwan Oh***,
Hun-gu Lee****, Yong-joo Kim*****, Kyung-hee Han*

Myongji university*, INTECH-FA CO.**, Myongji college, Yongin Songdam college,
Dongyang Industrial College*****

Abstract - A programmable dymanometer is prosed where the user can define the steady-state and inertial torque-speed characteristic of the load. Rotating machinert can be tested on this dynamometer to determine their transient and steady-state characteristics with a pratical load. The system uses proportional-integrtal(PI)controllers to control a three-phase induction motor using indirect field orientation

1. 서 론

일반적으로 인버터 스텍 개발에 있어 신뢰성 향상을 위한 다양한 부하 시험은 필수적이라 할 수 있다. 리액터 부하를 이용한 시험의 경우, 인버터 입력 전력은 손실분만을 공급하므로 제한된 전기설비로도 경격 및 과부하시의 온도상승 특성을 살펴볼 수 있는 반면 모터 제어시 특성에 대한 시험은 불가능한 단점을 갖고 있다.

본 논문에서는 유도전동기를 이용한 가변부하 장치를 구현을 위하여 벡터제어 방식을 통한 토크제어를 행하였다. 또한 제어부는 토크 지령 발생기와 토크 제어기 및 전류제어기의 구조로 구성하였으며, 토크지령 발생기의 지령토크와 출력전류에 의해 구해진 토크를 이용, 토크제어가 되도록 제어기를 구성하였다.[1~3] 따라서 속도정보 및 부하측 전류에 의해 구동용 전동기 및 부하측 전동기의 발생 토크를 연산하므로서 구동부와 독립적으로 제어가 가능하도록 하였다. 가변부하를 위한 파라메터 설정에 있어서는 관성, 일정 토크, 속도에 비례, 제곱, 3제곱에 대한 비례상수를 적용할 수 있도록 하여 정토크부하, 관성부하, fan/pump 부하의 구현이 가능하도록 하였으며 이를 실험을 통하여 검증하였다.

2. 부하장치 구현

일반적으로 존재하는 물리적인 부하는 정토크부하, 관성부하, fan/pump 부하등으로 대표될 수 있으며 식 (1)로 표현할 수 있다.

$$T_{load} = T_o + a\omega_m + b\omega_m^2 + c\omega_m^3 + J\frac{d\omega_m}{dt} \qquad (1)$$

여기서 T_{load}는 부하 전체가 작용하는 부하토크이며 J는 관성계수, T_o는 정토크분으로 나타난다. 또한 계수 a,b,c는 속도에 1차,2차 및 3차에 비례하는 성분이다.

2.1백터 제어

토크와 자속축을 각각 q축과 d축으로 나누고 고정자와 회전자를 s, r로 나타내면, 유도전동기의 회전자 및 고정자 전압방정식은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + pL_s & -\omega_e L_s & Pm & -\omega_e M \\ \omega_e L_s & R_s + pL_s & \omega_e M & pM \\ pM & 0 & R_r + pL_r & 0 \\ \omega_{sl} M & 0 & \omega_{sl} M & R_r \end{bmatrix} \qquad (2)$$

또한 슬립식은 식 (3)과 같이 근사화 될 수 있다.

$$\omega_{sl} = \frac{R_r}{Lr} \cdot \frac{i_{qs}}{i_{ds}} \qquad (3)$$

동기각속도 ω_e와 회전자 각속도 ω_r및 슬립각속도 ω_{sl}의 관계는 식 (4)와 같다.

$$\omega_e = \omega_{sl} + \omega_r \qquad (4)$$

또한 회전자속을 Ψ_r이라 할때 자속식은 식 (5)로 나타낼수 있다.

$$\Psi_r = Mi_{ds} + L_r i_{qr}$$
$$0 = Mi_{qs} + L_r i_{dr} \qquad (5)$$

식 (4)와 식 (5)에 의하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$pi_{qs} = \frac{-R_s L_r}{\sigma} i_{qs} - \frac{M\omega_e}{\sigma}\Psi_r + \frac{L_r}{\sigma} v_{qs} \qquad (6)$$

따라서 유도 전동기의 상태 방정식으로 나타내면 다음과 같다.

$$d\begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ \Psi_r \end{bmatrix}/dt = \begin{bmatrix} Z & \omega_e & \frac{MR_r}{\sigma Lr} \\ -\omega_e & -\frac{R_s Lr}{\sigma} & \frac{M\omega_e}{\sigma} \\ \frac{R_r M}{L_r} & 0 & \frac{-R_r}{L_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ \Psi_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{L_r}{\sigma} & 0 \\ 0 & \frac{L_r}{\sigma} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_{qs} \\ v_{ds} \end{bmatrix} \qquad (7)$$

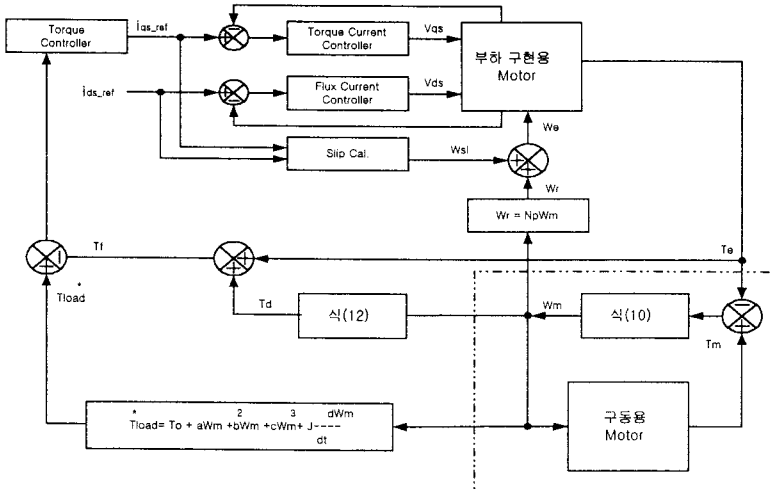

그림 1 시스템 제어 블록도

여기서 $\sigma = L_s L_r - M^2$

모터가 발생하는 토크는 다음과 같다.

$$T_e = \frac{3}{2} N_p \frac{M^2}{L_r} i_{qs} i_{ds} \quad (8)$$

또한 회전자 자속은 회전자 시정수 T_r에 대하여 1차 지연의 형태로 나타난다.

$$\Psi_r = \frac{M}{T_r p + 1} i_{ds} \quad (9)$$

2.2 가변 부하 제어

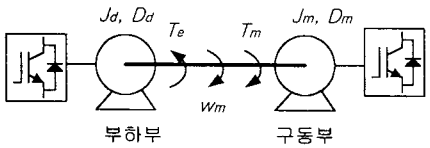

그림 2 모터 시스템

부하부 및 구동부의 기계적 시스템의 관성계수, 마찰계수 및 토크를 나타내면 그림 2와 같으며 J_d, D_d 및 T_e는 부하측 모터가 등가적으로 발생하는 관성계수, 마찰계수 및 출력토크이며 J_m,D_m 및 T_m은 구동부의 모터가 가지고 있는 관성계수, 마찰계수 및 출력토크이다. 또한 그림 2에서 토크와 모터 속도의 관계를 나타내면 식 (10)과 같다.

$$T_m - T_e = (J_d + J_m)\frac{d\omega_m}{dt} + (D_d + D_m)\omega_m \quad (10)$$

부하부측의 실제토크를 $\overline{T}_{load}$로 놓고 부하측과 구동측을 모델링 하면 식 (11)과 식 (12)로 표현된다.]

$$\overline{T}_{load} = T_e + J_d\frac{d\omega_m}{dt} + D_d\omega_m \quad (11)$$

$$T_d = J_d\frac{d\omega_m}{dt} + D_d\omega_m \quad (12)$$

$\overline{T}_{load} = T_e + T_d$ 일 때 다시 나타내면

식(13) 으로 됨을 알 수 있다.

$$T_e - \overline{T}_{load} = J_m\frac{d\omega_m}{dt} + D_m\omega_m \quad (13)$$

본 논문에서는 토크 제어시 현재 부하용 인버터의 출력 토크와 가상적으로 모델링한 토크 발생기의 차로 이루어 지도록 하였다. 또한 전동기의 속도 ω_m에 의한 구동부의 출력 토크는 식 (12)에 의하여 T_d를 구하고 구동부에서 발생하는 토크 T_e의 차를 이용, 토크 피드백 요소 T_f를 구하였으며 부하 출력 지령 T^*_{load}를 추종하도록 하였다.

2.3 시스템 구성

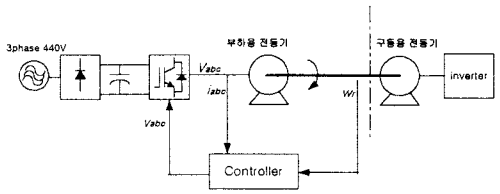

그림 3 시스템 구성도

시스템의 구성은 그림 3과 같다. 부하측 인버터와 모터 그리고 테스트용 모터 및 인버터로 구성되어 있으며 제어기의 경우 벡터제어를 위하여 속도 및 구동부의 전류, 인버터 dc전압을 검출하여 제어되도록 하였다. 또한 시스템의 성능을 알아보기 위하여 구동용 전동기의 인버터는 일반적인 VVVF 인버터를 사용 하였다.

3. 실험 및 고찰

입력전압 440V, 부하측 모터는 55kW, 구동부 모터는 22kW의 4극 유도 전동기로 실험하였다.
구동부의 경우 일반적인 인버터를 가정하여 VVVF방식의 인버터를 사용하였으며 정격주파수인 60Hz로 설정하고 가속시간은 5초로 설정하였다

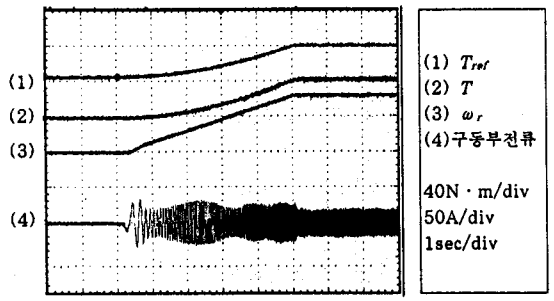

그림 4 fan/pump부하

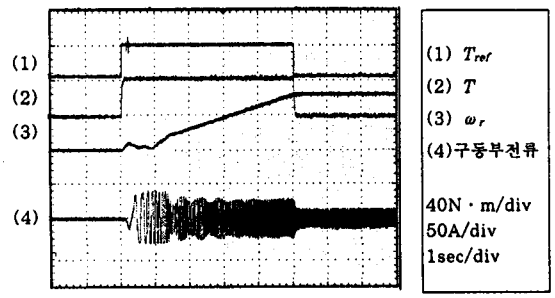

그림 5 관성부하

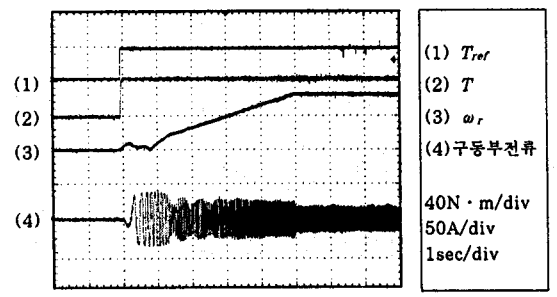

그림 6 정토크 부하

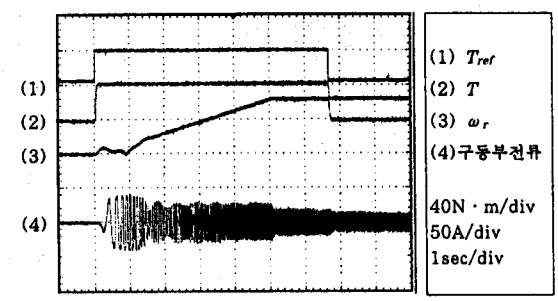

그림 7 순시 가변부하

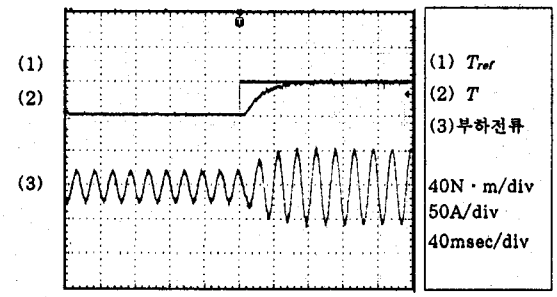

그림 8 부하부 Torque 응답 파형

그림 4는 가속시 fan/pump의 부하특성을 나타내기 위하여 속도의 제곱에 비례하는 부하토크를 발생한 경우를 보여준다. 또한 그림 5는 관성부하를 나타낸 것이며 속도의 변화가 0인 구간에서 부하토크 지령이 급격히 줄어드는 것을 알 수 있다. 그림 6는 정토크 부하인 경우이며, 그림 7은 정격속도 운전시 토크지령을 step으로 가변한 경우이다. 같은 조건을 위지하기 위하여 정상상태에서의 토크 지령을 40N · m로 설정하였다. 또한 그림 8의 경우 부하부 인버터의 토크제어 특성을 나타낸다.토크 지령을 양호하게 추종하는 것을 볼 수 있다.

VVVF운전시 초기의 속도의 리플은 현재 자속 확립의 영향으로 보여 지며 시스템의 커플링의 관성이 상대적으로 큰관계로 가속 구간의 전류 리플이 나타남이 보여 진다. 향후 이점이 개선점이라 할 수 있겠다.

4. 결 론

본 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 파라메터 가변에 의하여 관성부하, 정토크부하, fan/pump 부하의 가변이 가능므로 구동부의 인버터 시험시 다양한 실험이 가능하다.
2. 별도의 토크 검출기를 필요로 하지않는다.
3. 유도전동기를 부하로 이용하므로서 직류기에 비하여 유지 보수가 간편하다.

또한 가속시 구동부의 전류를 개선하기 위하여 모터의 커플링의 관성이 큰 경우, 관성 부하가 아닌 상황에서 구동부측에서 바라보았을 때 관성력이 보이지 않도록 부하부를 제어하는 방법이 요구 된다.

[참 고 문 헌]

[1] P.CKrause, Analysis of Electrical Machinery, NewYork : McGraw-Hill,1986

[2] Y.Huang,"A Programmable Dynamometer for Testing Rotating Machinery," M.S.Thesis,Clemson University,Clemson SC,April 1993.

[3] D.W. Novotny and R.D.Lorenz,"Introduction to Field Orientation and High Performance AC Drives,2nd Ed.,Tutorial Course, IEEE Industry Applications Society,1986