하계학술대회
논문86-13-9

유도전동기의 Slip 주파수형 Vector 제어

Slip-frequency Vector Control for Induction Motors Drive System.

운 병 도 중 앙 대 학 교
김 민 회 * 영남 공업 전문 대학
정 재 륜 유한 공업 전문 대학

1. 서 론

종래의 Servo Drive 계통에서는 D C Motor가 주로 사용되어 왔지만 정류자나 브러시에 따른 구조적 문제점, 가격, 주위 환경에 따른 운전 제약등의 문제점을 해결하기 위하여 최근에는 PWM Inverter에 의하여 구동되는 유도전동기의 Vector 제어를 이용한 Servo System이 크게 연구되어 지고 있다.(1),(2),(3)

유도 전동기의 Vector 제어에는 2차 자속을 검출하여 좌표 변환하는 자속 검출형과, Slip 주파수와 회전 속도를 더하여 2차 자속의 회전 속도를 추정하는 스립 주파수형으로 크게 구분될 수 있으며 자속 검출형은 자속 검출기를 직접 전동기에 설치하여야 하는 어려움이 따른다.

그러므로 본 연구에서는 Microprocessor (Intel 8086-2, 8MHz) 을 사용하여(5) 2차 좌표상에서 여자 성분의 전류(i_{dR})와 Torque 성분의 전류(i_{qR})에 의하여 결정되는 Slip 주파수를 전동기의 정수에 의하여 연산하고(4), 이 연산된 주파수와 회전 속도를 더하여 2차 자속의 회전속도를 구하고 이것을 적분하여 2차 자속의 추정 위치로서 1차 전류에 해당하는 값으로 좌표 변환하여 유도 전동기의 속도를 제어하는 Slip 주파수형 Vector 제어에 대하여 System 구성과 속도 제어 특성에 관하여 고찰하고져 한다.

2. Vector 제어 이론

(1) 유도 전동기의 d-q 변환과 기본식

d-q 변환한 3상 유도 전동기의 전압 방정식과 Torque 식은 (1), (2)로 표시 된다.

$$\begin{bmatrix} V_{ds} \\ V_{qs} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1+p(l_1+L_1) & -(l_1+L_1)\omega_1 \\ (l_1+L_1)\omega_1 & R_1 p(l_1+L_1) \\ pM & -M\omega_s \\ M\omega_s & pM \end{bmatrix} *$$

$$\begin{bmatrix} PM & -M\omega_1 \\ M\omega_1 & PM \\ R_2+P(l_2+L_2) & -(l_1+L_2)\omega_s \\ (l_2+L_2)\omega_s & R_2+P(l_2+L_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ i_{dR} \\ i_{qR} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$T = PM(i_{qs}\, i_{dR} - i_{ds}\, i_{qR}) \quad (2)$$

$$\left(P = \frac{d}{dt},\ \omega_1 : 1\text{차각주파수}\right)$$

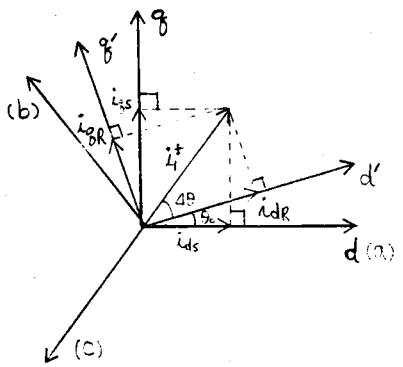

Fig.1. d-q 좌표변환

회전자축을 고정자축으로 좌표 변환하면 식(3)(4)으로 된다.

$$\begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_0 & -\sin\theta_0 \\ \sin\theta_0 & \cos\theta_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dR} \\ i_{qR} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\theta_0 = \int (\omega_r + \omega_s)\, dt \quad (4)$$

3상유도전동기에서 직접제어 가능한 전류는 i_1^* 의 a, b, c 축 방향성분 i_{as}, i_{bs}, i_{cs} 이며 식 (5)로 된다.

$$\begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos\theta_0 & -\sin\theta_0 \\ \cos(\theta_0-\frac{2}{3}\pi) & -\sin(\theta_0-\frac{2}{3}\pi) \\ \cos(\theta_0+\frac{2}{3}\pi) & -\sin(\theta_0+\frac{2}{3}\pi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} \quad (5)$$

이때 2차 자속, Torque, Slip, Torque 의 편각은 식 (6), (7), (8), (9)으로 표시되며 식 (5)을 변형하면 식 (10), (11)로 된다.

$$\Phi_2 = \frac{M}{1+PT_2}\, i_{dR} \quad (6)$$

$$T_M = P_m \frac{M}{L_2}\, \Phi_2\, i_{qR} \quad (7)$$

$$\omega_s = \frac{M\, i_{dR}}{T_2\, \Phi_2} \quad (8)$$

$$\theta_T = \tan^{-1}\left(\frac{i_{qR}}{i_{dR}}\right) \quad (9)$$

$$i_1^* = \sqrt{i_{dR}^2 + i_{qR}^2} \quad (10)$$

$$i_{as} = \sqrt{\frac{2}{3}}\, |i_1^*|\, \sin\theta_1^*$$

$$i_{bs} = \sqrt{\frac{2}{3}}\, |i_1^*|\, \sin(\theta_1^* - \tfrac{2}{3}\pi) \quad (11)$$

$$i_{cs} = \sqrt{\frac{2}{3}}\, |i_1^*|\, \sin(\theta_1^* + \tfrac{2}{3}\pi)$$

$$\left(T_2 = \frac{L_2}{R_2},\ P_m = \text{극대수}\right)$$

그러므로 $|i_1^*|$ 와 θ_1^*가 결정되면 식(11)에 의하여 1차 3상 전류가 계산된다.

(2) Slip 주파수형 Vector 제어

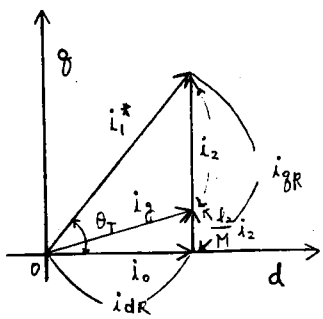

Fig. 2. Vector Diagram

가변주파수 제어에서는 일반적으로 여자전류 i_g을 일정하게 하므로 전압과 1차 각 주파수 W_1 $(=W_r+W_s)$은 비례하게 되므로 Torque는 식 (12)로 표시되며 1차 전류는 식 (13)으로 표시된다.

$$T = \frac{P_o}{\omega_1} = K i_z \qquad (12)$$

$$i_1 = i_g + i_z = -J\frac{K}{M} + \frac{l_2}{M} i_2 + i_2 = i_o + \frac{L_2}{M} i_z \qquad (13)$$

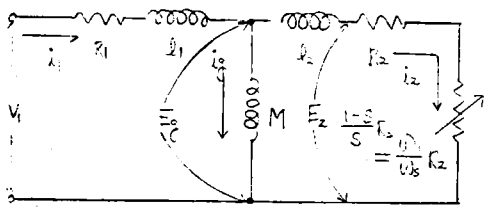

Fig. 3. IM의 등가회로

유도 전동기의 등가 회로는 Fig. 3 이며 Fig. 2 는 Vector로부터 여자 성분의 전류($i_o = i_{dR}$)와 Torque 성분의 전류 ($\frac{L_2}{M} \times i_2 = i_{qR}$)로구분될 수 있으며, 이때 위상 Slip 각 및 1차 전류는 식 (14), (15), (16), (17)로 나타내어 진다.

$$\theta_1 = \int \omega_1 \, dt = \int (\omega_r + \omega_s) \, dt \qquad (14)$$

$$\omega_s = \frac{R_2}{M i_o} i_z \qquad (15)$$

$$\theta_T = \tan^{-1} \frac{L_2 i_z}{i_o M} \qquad (16)$$

$$i_{as} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{i_o^2 + \left(\frac{L_2}{M} i_2\right)^2} \; \sin(\theta_1 + \theta_T) = i_1^* \sin \theta_1^*$$

$$i_{bs} = \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{i_o^2 + \left(\frac{L_2}{M} i_2\right)^2} \; \sin\left(\theta_1 + \theta_T - \frac{2}{3}\pi\right) = i_1^* \sin\left(\theta_1^* - \frac{2}{3}\pi\right)$$

$$i_{cs} = \text{〃} \quad \sin\left(\theta_1 + \theta_T + \frac{2}{3}\pi\right) = i_1^* \sin\left(\theta_1^* + \frac{2}{3}\pi\right) \qquad (17)$$

3. System 구성

(1) 제어 계통

16Bit Microprocessor (8086-2) 로 구성된 제어 System 은 Fig.4와 같다.

(2) 유도 전동기의 정격

실험에 사용된 유도 전동기의 정격 및 회로 정수는 다음과 같다.

P=2.2KW, V=220V, I=8.2A,

N=1730 rpm, p=4, f=60HZ,

i_0=4.3A

R_1=0.899Ω/75℃, R_2=0.6731Ω/75℃

$l_1 = l_2$ = 3.45mH, M=78.6mH,

$L_1 = L_2$ = 82.05mH,

L_2/M=1.0439, R_2/M=8.5636

4. 결 론

Fig.4 와 같은 System 으로 3상유도 전동기의 Slip 주파수형 Vector 제어를 Microprocessor에 의하여 Digital 제어한 결과 빠른 제어 특성이 얻어졌으며, 이를 이용하여 Servo System 및 산업응용분야에 응용이 가능할것으로 사료된다.

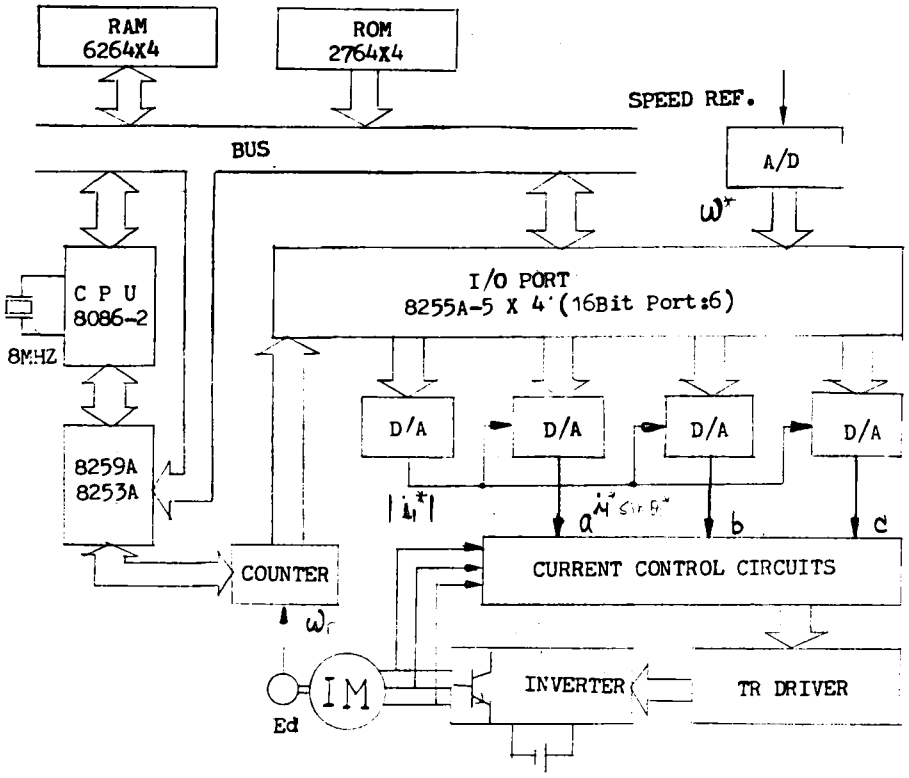

Fig. 4. 제 어 계 통 도

참 고 문 헌

(1) NOBUYOSHI MUTOH , "High -Response Digital Speed -Control System for Induction Motors", IEEE-Trans, IE-33, No1, 1986

(2) SATOSHI OGASA WARA , "A High Performance AC Servo System with Permanent Magnet Synchronous Motors" IEEE -Trans, IE-33, No1, 1986.

(3) TERVO ITO , "Analysis of Field Orientation contral of Current Source Inverter Drive Induction Motor Systems", IEEE-Trans, IA-19, No2, 1983.

(4) YOZO Veda , "Rotor Resistance Variation In Quick Response Induction Motor Drive", IECON 84, 863-868, 1984.

(5) Intel co, "MCS-86TM System Design Kit User's Guide, 1981.