

트랜스 벡터 제어에 의한 3상 교류 전동기 가변속  
구동 회로의 구성에 관한 연구

Drive Control Schemes of a 30 Induction motor Systems  
at Stator Current Trans-vector Control

홍 순 일\*  
박 락 문

부산 개방 대학  
부산 개방 대학

1. 서 론

벡터 제어는 Daranstadt 공과대학의 Hasse 씨가 1986년 그 원리를 발표하여(3) 4) 6) 1971년 Blaschke 씨가 회전 자속속을 기준으로 한 가변속 벡터 제어 개념을 발표하였다. 최근에는 M. Abs 씨와 城尚志 씨 등의 의하여 전력용 반도체를 이용한 가변 전원장치의 개발에 힘입어 전동기에 공급되는 회전벡터 입력을 제어하는 트랜스 벡터 제어의 연구가 진행되고 있다. 1) 2) 5) 특히 유도 전동기의 트랜스 벡터 제어에서 고속응답을 실현하기 위해서는 지령값에 양호하게 추종하는 공급 1차 전류를 제어하는 변환장치와 이 변환장치를 제어하는 제어회로의 설계가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 유도 전동기의 2축 이론에 따라 3상 유도 전동기에서 전압 전류 벡터 사이의 관계를 나타내는 미분 방정식을 전류 벡터의 회전좌표 변환에 의해서 2차 자속속에 투영하여 유도하였다. 이 방정식의 뜻에 따라 고정자 전류 벡터 제어에 적용하기 편리한 등가회로를 유도하고, 고정자 전류  $\dot{i}_s$  을

등가하여자본 전류  $\dot{i}_d$  와 토크분 전류  $\dot{i}_q$  로 분해하여 복소수로 나타내었다. 여기서 이 자본 전류  $\dot{i}_d$  를 일정하게 유지하고 고정자 전류의 크기와 그 위상(회전각 주파스)를 벡터 제어 시킴으로서 가변속 구동되는 제어 조건식을 유도하였다. 또, 제어조건식에 따라 제어 알고리즘을 유도하여 제어회로를 구성하였다. 그 결과 전동기 시스템을 선형화하여 속도응답특성을 평가하고 구성된 제어 회로에 의해 교류 전동기의 속도제어가 작류 전동기와 같이 선형제어됨을 이론과 실험을 통해서 구명하였다.

2. 교류 전동기 트랜스 벡터 제어 원리  
2.1. 고정자 전류 벡터 제어 원리

그림 1은 3상 교류 전동기 구동을 위한 고정자 전류 벡터 제어 원리도이다.

3상 공급 전압  $V$  에서 전동기 입력 전압  $V_1$  까지의 전압전류 사이의 방정식을 구하면

$$v_1 = \beta \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V \cos \alpha - \beta (R_s + L_s p) I_d \quad (1)$$

되고,  $\theta_1$  에 동기하여 회전하는 회전축으로 환산한 a 상 전류  $\dot{i}_{s1}$  을 구하면

$$i_1 = \frac{1.21 V \cos \alpha}{(Z_M + R_d + L_d p)} \sin \omega_1 t \quad (2)$$

가 된다. 이 식에서  $i_1$ 의 크기와 회전각 속도  $\omega_1$ 을 제어하는 것이 트랜스 벡터 제어이다.

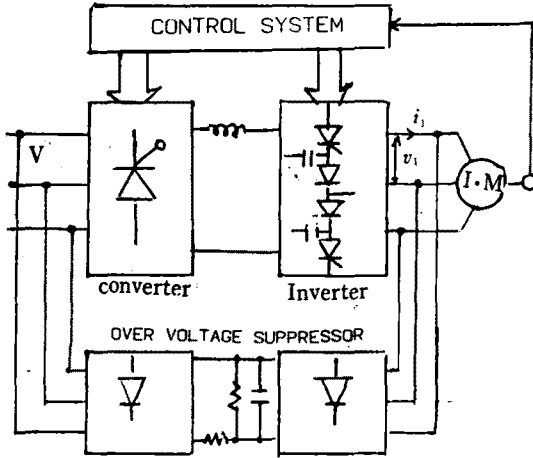


그림 1. 트랜스 벡터 제어 원리

2.2. 농형 유도전동기의 해석

2상 유도전동기의 D-Q 축으로 표현된 전압전류 방정식<sup>4)</sup>에서 전류 벡터의 회전좌표 변환에 의하여 3상농형 전동기 1상의 전압전류 벡터 방정식을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 + pL_1 & pM \\ pM - M\omega & R_2 + pL_2 - L_2\omega \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

발생 토오크 식은

$$T = Mi_1 \times i_2 \quad (4)$$

이식을 고정자 입력 각 주파수  $\omega_1$ 으로 투영하면

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 + pL_1 & pM \\ pM + (\omega_1 - \omega)M & R_2 + pL_2 + (\omega_1 - \omega)L_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

이 된다.

(3)식에서 2차 회로를 변환하여 2차 자속속으로 환산하기 위해  $i_2 = k i_2'$ 라 놓고

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & k/s \end{bmatrix} \text{을 좌에서 곱하면 (6)식이 된다.}$$

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 + j\omega_1 L_1 & j\omega_1 \left(\frac{M^2}{L_2}\right) \\ j\omega_1 \left(\frac{M^2}{L_2}\right) & \left(\frac{M}{L_2}\right)^2 \frac{R_2}{s} + j\omega_1 \left(\frac{M^2}{L_2}\right) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_1 \\ \left(\frac{L_1}{M}\right) i_2' \end{bmatrix} \quad (6)$$

이 식이 대응하는 등가회로는 그림 2이다.

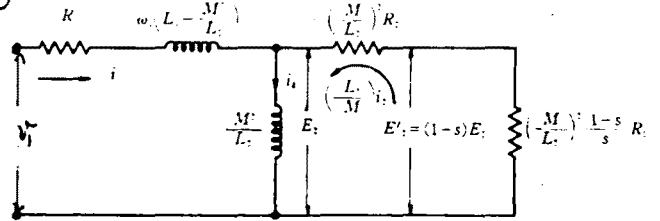


그림 2. 벡터제어에 편리한 등가회로 이 등가회로에서 다음식이 성립한다.

$$i_2 = i_2' - \left(\frac{L_1}{M}\right) i_2' = i_2 \quad (7)$$

$$T = \frac{M}{L_2} (M i_1) i_2' \quad (8)$$

3. 농형 유도전동기 트랜스 벡터 제어

3.1. 제어변수 선정과 전동기 시스템의 선형화.

전동기가 평행 상태로 운전될 때 발생 토오크 식(4)와 부하 토오크 사이에는 다음(9)식이 된다.

$$T_L = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega \quad (9)$$

식(5), (9)는 변수 상호간에 곱항을 포함하여 비선형 이므로 동작점에서 미소 변화에 대하여 선형화 하면 다음이 된다.

$$\begin{bmatrix} di_1 \\ di_2 \\ d\omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{D} (\omega_{11} M^2 - R_1 L_2) & \frac{M}{D} (\omega_{11} L_2 + R_2) & -\frac{M}{D} (M i_{11} + L_2 i_{21}) \\ \frac{M}{D} (R_1 - L_1 \omega_{11}) & -\frac{L_1}{D} (\omega_{11} L_2 + R_2) & \frac{L_1}{D} (M i_{11} - L_2 i_{21}) \\ \frac{M}{J} i_{21} & \frac{M}{J} i_{11} & -\frac{B}{J} \end{bmatrix}$$

$$X \begin{pmatrix} di_1 \\ di_2 \\ d\omega \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{L_2}{D} & \frac{M}{D}(Mi_1 + Li_2) \\ -\frac{M}{D} & -\frac{L_1}{D}(Mi_2 + Li_1) \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} di_1 \\ di_2 \\ d\omega \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{1}{J} \end{pmatrix} = JT_2$$

여기서,  $D = L_1 L_2 - M^2$ , 첨자는 경상상변의값.

3.2. 전류벡터 조건식의 유도와 제어 시스템

의 구성

보오르본전류 :  $i_2 = k_r \int \Delta \omega dt$

고정자전류의 크기 : 식(7)에서 다음이

유도된다.  $i_1 = \sqrt{i_0^2 + i_2^2}$

스립과주파수  $\omega_s$  제어조건 :

$$\omega_s = (R_2/M) (\tilde{i}_2 / \tilde{i}_0)$$

과도스립과주파수  $\omega_s'$  제어조건 :

$$\omega_s' = \tilde{i}_0 \left( \frac{di_2}{dt} \right)_{\omega_s} / i_0^2$$

고정자과주파수 :

$$\omega_1 = \omega + \omega_s + \omega_s'$$

이상의 제어조건에 따라 제어회로를 구성한

것이 그림 3이다.

4. 실험 결과

표 1에 주어진 피시험 전동기에 대하여 각 제어회로를 설계한 결과 다음과 같은 실험결과를 얻었다.

표 1. 전동기 정수와 부하

2.2KW, 200V, 50Hz	Sr=0.05%
$R_1=0.859[\Omega]$	$J=0.02[\text{kg}\cdot\text{m}^2]$
$R_2=0.459[\Omega]$	$B=0.001[1/\text{s}]$
$L_1=0.0904[\text{H}]$	$i_b=4.86[\text{A}]$
$L_2=0.0904[\text{H}]$	$i_1=9.0[\text{A}]$
$M=0.0873[\text{H}]$	$i_2=7.59[\text{A}]$

4.1. 각 제어요소의 설계

SCR 콘버터:  $G(s) = 1.35 V \cos \alpha$

$$0 < \alpha < 90^\circ$$

SCR 인버터부: 전류회로 (Commutation Circuit)

$$L = 120(\mu\text{H}), C = 6(\mu\text{F})$$

DCL : 70(mH)

N-AMP 속도 제어 증폭기

$$G(s) = K_1 (1 + \tau_1 s) / \tau_1 s$$

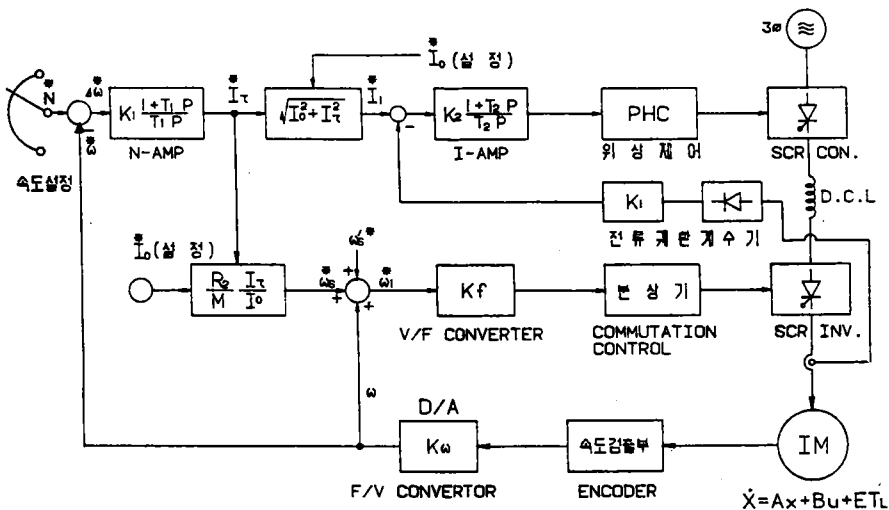


그림 3. 전류 벡터 제어시스템의 구성도

$$\omega_s : G(s) = \left( \frac{R_2}{L_2} \right) \cdot \frac{1}{s}$$

I-AMP : 전류 제어 증폭기

$$G(s) = K_2 \frac{(1 + T_2 s)}{T_2 s}$$

전류 변환 계수기 ( $K_I$ ) = 0.8589

회전수 변환 계수기 ( $K_\omega$ ) = 10(V)/(157(rad/s))

발전기 ( $K_f$ ) = 157(rad/s)/10(V)

#### 4.2. 속도 응답 특성

그림4는 800(rpm)으로 운전상태에서 속도 설정 변경으로 인하여 1397(rpm)까지의 스텝응답으로 상당히 속응성을 나타낸다.

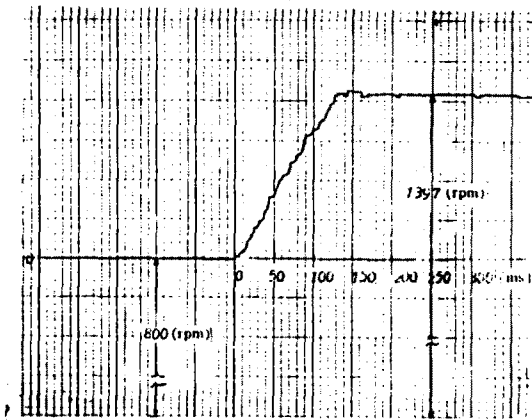


그림 4. 속도 응답 특성

#### 5. 결론

1) 3상 농형 유도전동기의 고정자 전류 벡터 제어를 위한 기초 방정식을 유도하여 이 방정식에 따라 벡터 제어에 편리한 등가회로와 제어조건식을 유도하였다.

2) 이 제어조건식에 따라 가변속 그동 시스템을 제안 하였다.

3) 각 제어 시스템을 블록별로 제작하여 운전한 결과 25~1450(rpm)까지 연속 제어할 수

있고 속도 설정 변경시 정상상태에 도달하는데 요하는 응답시간이 140(ms) 있다.

#### 6. 참고 문헌

- 1) M. Abbas: The stator voltage controlled current source Inverter Induction motor, IEEE Trans, Power app. vol IAS 81-250, PP.578-585, (1981)
- 2) Masahiko Akamatsu et: High performance I.M Drive By co-ordinate control using a controlled current Inverter, IEEE Vol. IA-18, pp.562-570, March-April, (1981)
- 3) K. Hasse: Zum dynamischen Verhalten der Asynchron machine bei Betrieb mit Variabler Stan der frequenz und stan der spannung ETZ-A 89H4, p.77, (1968)
- 4) 貝城尚志: 精密小形モータ總合資料集 Vol. 2, 總合電子リサーチ, pp.5~20, (1982)
- 5) Gv. Revankar et: Speed control schemes fo for Induction motor Based on concept of Field co-ordinates, IE(I) Journal-EL, Vol.63, pp.60-63, octobar (1982)
- 6) 長瀬博: ベクトル制御の理論, 電學全國大會, Vol. 7, No. 8, pp.58-3~88-6, (1983)
- 7) Luist Garces : Parameter Adaption for the Speed-controlled static AC Drive with a Squirrel Cage IM. IEEE Tran Ind, App., Vol. IA-16, No. 2, pp.173~178, march (1980)