

자계벡터 가속법에 기초한 유도 전동기의 고성능 구동

정승환, 홍순일, 홍정표
부경대학교 전기제어계측 공학부

A High Performance Drive for Induction Motor Based on the Field Acceleration Method

Seoung-Hwan lung, Soon-Il Hong, and Jung-Pyo Hong
Pukyong National University

Abstract -This paper is derived a solutions for an analytical model of an induction motor and the formula of regenerative power, based on spiral vector.

The torque is controlled linearity through variations of the slip angular velocity, based on the field acceleration method (FAM). And also PWM inverter fed induction motor drives is schemed to be easily a regenerative power.

The experimental tests verify the performance of the FAM, proving that good behavior of the drive is achieved in the transient and steady state operating condition. and are discussed to shave the power that regenerative power is measured at the operating acceleration or deceleration of servo system.

Key word: the field acceleration method, a regenerative power.

1. 서 론

유도전동기 동작해석에 많이 이용되고 있는 회전 2축 이론에 의한 회로방정식은 과도현상 및 정상상태를 겸해서 해석적으로 해를 구하는 것은 어렵다.

과도현상과 정상상태의 통일적인 해석을 위해서 山村 昌氏에 의한 감쇠회전 벡터(Spiral vector)가 제안되고 있다 [1, 2].

스파이럴 벡터를 이용한 상분리법(phase segregation method)에 의한 3상농형 유도전동기의 등가회로는 변수변환을 행하지 않고 한 상의 변수만으로 과도현상과 정상상태 해석에 적용 가능하다. 유도전동기의 계자가속법(FAM :Field Acceleration Method)이 제안되고 있다 [3, 4].

유도전동기 고성능제어는 많은 연구가 있지만 서보시스템에서 회생전력의 적극적 이용을 고려한 것은 적다.

본 연구는 스파이럴 벡터에 기초한 유도전동기 모델의 해석을 나타내고 이 해에 기초한 자계가속법(Field Acceleration Method)에 의해 순시 토크 제어와 회생전력 해석을 나타내었다. 전압지령형의 PWM제어에서 전압형 인버터에 의해 전동기가 동작할 때 전력회생이 수식으로 해석하였다.

2. FAM법

여자전류 $i_0^\alpha = i_1 + i_2^\alpha$ 를 이용하면 유도전동기 전압 전류 방정식은 (1) (2)이다.

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_1 + \frac{3M\alpha}{2} p & \frac{3M\alpha}{2} p \\ \frac{3M\alpha}{2} (p - j\omega_m) & R_2 + (L_2\alpha + \frac{3M\alpha}{2})(p - j\omega_m) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_1 \\ \alpha i_2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서 α 는 (2)와 같이 정의한다.

$$\alpha = \frac{L_1 + \frac{3M}{2}}{\frac{3M}{2}} \quad (2)$$

FAM법은 여자전류 i_0^α 를 (3)과 같이 원 벡터에 유지하는 것이다.

$$i_0^\alpha = \sqrt{2} |I_0^\alpha| e^{j(\omega t + \phi_0)} \quad (3)$$

이 때 고정자 전압과 여자 전압은 다음이다.

$$v_1 = R_1 i_1 + j\omega \frac{3M\alpha}{2} i_0^\alpha$$

(4)

$$e_1^\alpha = j\omega \frac{3M\alpha}{2} \sqrt{2} |I_0^\alpha| e^{j(\omega t + \phi_0)} \quad (5)$$

(5)식을 (2)에 대입한 일반해는 (6)이다.

$$i_2^\alpha = -\frac{s}{R_2\alpha + s\omega L_2\alpha} e_1^\alpha + |I_2^\alpha| A e^{-\frac{R_2\alpha}{L_2\alpha} t} e^{j\omega_m t} \quad (6)$$

토크는 (7)이다.

$$T_3 = \frac{3P}{2} \left(\frac{3M\alpha}{2} \right)^2 s \omega |I_0^\alpha|^2 \frac{\sqrt{(R_2\alpha)^2 - (s\omega L_2\alpha)^2}}{(R_2\alpha)^2 + (s\omega L_2\alpha)^2} \cos\theta_2 (1 - e^{-\frac{R_2\alpha}{L_2\alpha} t}) \quad (7)$$

여기서 $\theta_2 = \tan^{-1} \frac{s\omega L_2\alpha}{R_2\alpha}$ 이다. (7)에서 슬립주파수가 작은 영역에서 는 토크는 슬립주파수에 비례한다.

3. 속도제어 시스템

속도제어 시스템은 회생전력의 제한이 쉬운 전압지령형 인버터에 의해 행하여지고 토크 제어는 전압입력형 FAM법이다. 샘플링 속도의 고속화를 위해 소프트웨어는 어셈블리로 기술하고 정수연산을 행했다.

실험의 주목적이 토크 제어 성능 조사이기 때문에 속도제어는 비례오 소만의 피드백 제어로 했다. 토크 지령치 T^* 는 이득을 K_p , 속도오차를 ω_e 로 하면 식 (8)이다.

$$T^* = K_p \omega_e \quad (8)$$

토크 지령에 대응하는 슬립주파수는 (8)에서 (9)가 된다.

$$s\omega^* = K_s \omega_e T^* \quad (9)$$

여기서, 슬립각속도 계수 $K_{s\omega} = \frac{2}{3} \frac{1}{P} \left(\frac{2}{3M\alpha} \right)^2 \frac{R_2}{|I_0^\alpha|^2} = \frac{31.85}{|I_0^\alpha|^2}$ 이다. 전

원 각속도 ω 는 회전자속도 ω_r 와 슬립주파수 $s\omega$ 의 합이 되고, 여자전압 e_1 는 (5)에 의해 식(10)으로 구해진다.

$$e_1 = K_{e1} \omega e^{j(\omega t + \phi_0 + \frac{\pi}{2})} \quad (10)$$

여기서 $K_{e1} = \frac{2}{3} M\alpha \sqrt{2} = 0.333 |I_0^\alpha|$ 이다. 이 여자전압에 R_1 에 의한 전압강하를 보상하여 전압 지령치는 식(11)이 된다.

$$V_1^* = R_1 i_1 + K_{e1} \alpha \cos(\omega t + \phi_0) \quad (11)$$

여기서, 제 1항의 $|i_1|$ 은 5A에 제한되기 때문에 최대 6.25V 이다. 제 2항은 $\omega \approx 333$ (최대 속도)이며, K_{e1} 은 $K_{e1} \leq \frac{45 - R_1 i_1 \max}{333} = 0.1163$ 이다.

그리고 전압 지령치를 직류전원전압으로 나눈 것이 최종적인 출력의 Duty 비가 된다. 표 1은 300W 전동기 정수와 정수에서 결정한 파라미터이다. K_p 는 토크 제어 성능에는 영향을 끼치지 않기 때문에 시행착오에 의해 결정했다. 사용한 전동기의 회전 속도범위는 0~3000rpm이고 대응하는 동기주파수는 0~50Hz이다.

표 1 전동기 정수

여자전류	0.5A	R_1	5.86	K_{e1}	0.1163
정격속도	3000rpm	R_2	5.3	$K_{s\omega}$	127
정격전압	120V	L_1, L_2	0.164	토크정수	0.0765
정격전류	2.0A	M	0.143	토크제한	0.54Nm

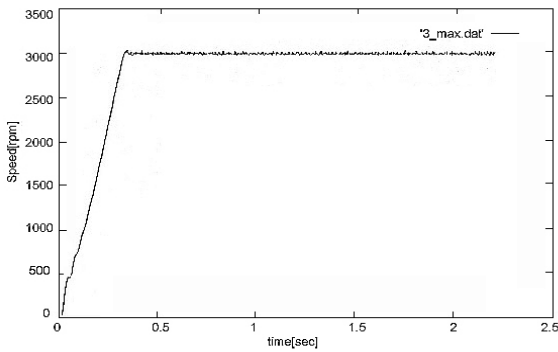
4. 실험결과

4.1 정속구동

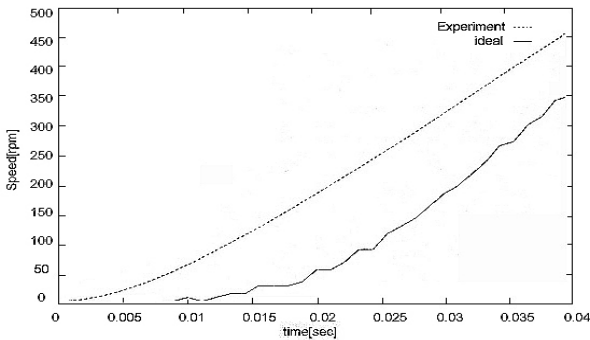
그림 1은 속도 지령을 3000rpm으로 했을 때의 속도응답이다. 그림에서 가속 부분은 대체로 일정 가속으로 되며 토크 제어가 정상으로 행해지고 있는 것을 나타내고 있다.

그림 2는 기동 직후 속도응답을 확대해서 나타낸 것이다. 속도 지령치를 준 후 가속이 시작되어 실제 응답이 출력될 때까지의 시간은 약 10[msec]가 되었고 이 결과에서 전압입력형 FAM법의 과도항의 영향이 확인 가능하다. 이론치와 실측치 사이에 오차가 있지만 이것은 전동기의 물리적 정수 특히, 점성계통 계수가 정확하지는 않기 때문이라 여겨진다.

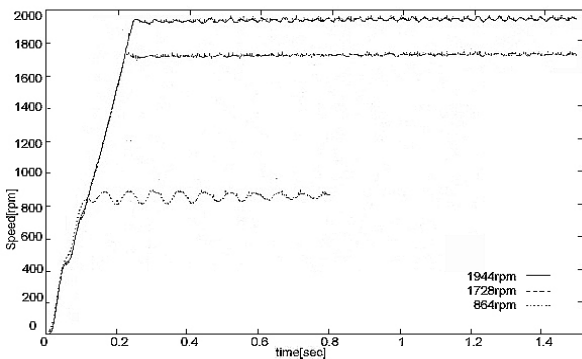
그림 3은 속도 지령치 864 [rpm], 1728 [rpm], 1944 [rpm]에 대한 속도 응답을 나타낸 것이다. 모든 정수는 표 1의 것을 이용했다. 모두 정상적으로 안정하게 동작하고 있지만 저속에서는 토오크 맥동이 심한 것을 볼 수 있다.



〈그림 1〉 속도 응답(3000rpm)



〈그림 2〉 가속 시 속도 응답(3000rpm) 확대



〈그림 3〉 속도 응답

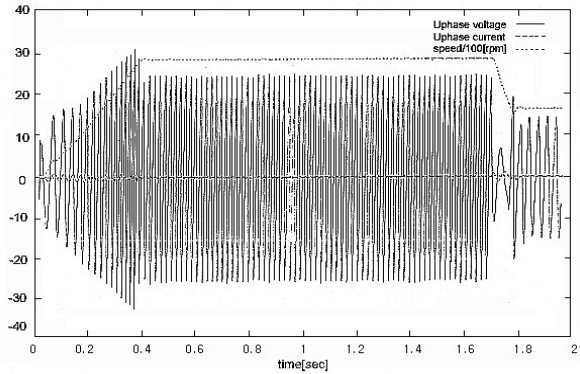
4.2 회생전력

그림 4는 정격속도 3000[rpm]에서 저속상태 1728 [rpm]으로 제동 할 때 전류, 전압파형을 나타낸 것이다. 제동 전·후의 전원주파수는 그대로 동기속도로 되기 때문에 그것과 비교해 제동 중에는 슬립이 부(-)로 되는 것을 알 수 있다.

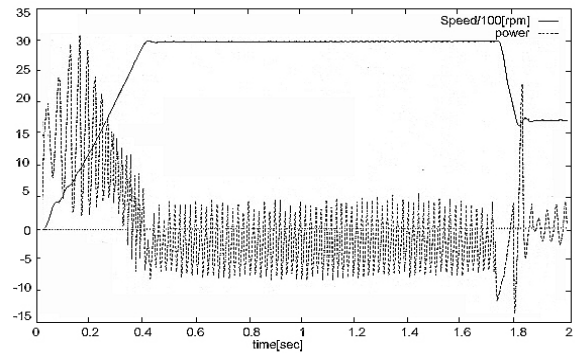
그림 5는 그림 4와 같은 조건의 실험에서 전압과 전류에서 전력을 구

해 출력(P)한 것이다. 이것에서 제동시의 전력 회생을 확인 가능하다. 또 정상운전 시에 전력이 진동하고 있지만 이것은 앞에서 서술한 토오크 맥동에 대응하는 것이다.

이 실험에서 발생한 회생에너지는 4.72[J], 소비시킨 에너지는 5.74[J]이고, 회생에너지를 모두 유효 이용 가능한 경우는 82%의 전력이 절약된다.



〈그림 4〉 감속 시에 전압, 전류파형



〈그림 5〉 전력회생

5. 결 론

스파이럴 벡터에 기초하여 유도전동기 순시 토크(instantaneous torque) 제어와 회생전력 해석을 나타내었다. 자계가속법(Field Acceleration Method)에 기초하여 회생구동이 쉬운 전압지령형의 전압원인버터에 의한 유도전동기의 속도 서보시스템을 나타내었다.

회생전력의 전원으로 케환은 회생전력이 역전압 형으로 생기는 전류형 인버터 제어에 비하여 역전류 형으로 생기는 전압형 인버터 구동이 전력회생이 쉽고 전력절약 구동으로서의 적용이 적합함을 알 수 있다. 제안한 속도서보 시스템은 전압입력형 FAM법의 유효성이 확인되었고 가감속시의 소비(회생)전력을 측정하여 실제 시스템에서 전력절약 정도를 검토하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 山村 昌, 交流回路 と 交流機 の 스파이럴 벡터 理論, 日本 電氣學 會誌, 109卷, PP. 517-523, 1992
- [2] Ching-Tsai Pan and Ting-yu Chang, " A Fixed structure Discrete-Time Sliding Mode Controller for Induction Motor Drive", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 9, No.4, PP. 645-651, 1994.
- [3] Djordje M. Stojic and Slobodan N. Vokosavic, " A New Induction Motor Drive Based on the Flux Vector Acceleration Method " IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 20, No.1, PP. 173-180, 2005.
- [4] Kieiju Matsui, Uito Mizuno, "Improved Power Regenerative Controls by Using Thyristor Rectifier Bridge of Voltage Source Inverter and a Switching Transistor", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 28, No. 5, p1010 ~ 1016, 1992.