

FAM 법에 의한 유도형 서보 전동기의 전력회생 구동

홍순일, 정승환, 홍정표
부경대학교 전기제어 계측공학부

Regenerative Power Drive of a Induction Motor Based the Field Acceleration Method

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

Abstract - 본 연구는 스파이럴 벡터에 기초한 유도전동기 모델의 해석을 나타내고 이 해에 기초한 자계가속법(Field Acceleration Method)에 의해 순시 토크제어와 회생전력 해석을 나타내었다. 전압지령형의 전압 PWM 인버터에 의한 유도 전동기의 속도 서보시스템을 설계하고 가감속시의 소비(회생)전력을 측정하여 실제 시스템에서 전력 절약정도를 검토하였다. FAM법에 의한 실험을 행하고 유효성을 확인하였다.

Key words : 자계가속법(Field Acceleration Method),
순시토오크제어, 회생전력

1. 서 론

유도전동기 동작해석에 많이 이용되고 있는 회전 2축 이론에 의한 회로방정식은 과도현상 및 정상상태를 겪어서 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 서보 시스템에서 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 토크제어와 회생전력 해석을 나타내었다. 전압지령형의 PWM제어에서 전압 형 인버터에 의해 전동기가 동작할 때 전력회생이 수식으로 해석 하였다.

2. 본 론

2.1 스파이럴 벡터와 유도전동기 모델

1차 a 상, 2차 r 상만으로 상분리하고 임의의 매개

파라미터 $\alpha = \frac{L_1 + \frac{3M}{2}}{\frac{3M}{2}}$ 이용하여 변환하면 (1)이다. 웃 첨자 a 는 변형후 변수를 나타낸다.

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

2.2 전압입력형 FAM법과 회생구동

2.2.1 전동기 토크

여자전류 $i_0^a = i_1 + i_2^a$ 를 이용하면 (2) (3)이다.

$$v_1 = R_1 i_1 + \frac{3Ma}{2} \pi_0^a \quad (2)$$

$$0 = \frac{3Ma}{2}(p - j\omega_m) i_0^a + \alpha R_2 i_2^a + L_2^a(p - j\omega_m) i_2^a \quad (3)$$

FAM법은 여자전류 i_0^a 를 (4)과 같이 원 벡터에 유지하는 것이다.

$$i_0^a = \sqrt{2} |I_0^a| e^{j(\omega t + \phi_0)} \quad (4)$$

이 때 고정자 전압과 여자 전압은 다음과 같다.

$$v_1 = R_1 i_1 + j\omega \frac{3Ma}{2} i_0^a \quad (5)$$

$$e_1^a = j\omega \frac{3Ma}{2} \sqrt{2} |I_0^a| e^{j(\omega t + \phi_0)} \quad (6)$$

(6)식을 (3)에 대입한 일반해는 (7)이다.

$$i_2^o = - \frac{s}{R_2\alpha + s\omega L_2\alpha} e^\alpha + |I_2^o| A e^{-\frac{R_2\alpha}{L_2\alpha}t} e^{j\omega_m t} \quad (7)$$

토오크는 (8)이다.

$$T_3 = \frac{3P}{2} \left(\frac{3M\alpha}{2} \right)^2 s\omega |I_2^o|^2 \frac{\sqrt{(R_2\alpha)^2 - (s\omega L_2\alpha)^2}}{(R_2\alpha)^2 + (s\omega L_2\alpha)^2} \cos \theta_2 (1 - e^{-\frac{R_2\alpha}{L_2\alpha}t}) \quad (8)$$

여기서 $\theta_2 = \tan^{-1} \frac{s\omega L_2\alpha}{R_2\alpha}$ 이다. (8)에서 슬립주파수

가 작은 영역에서는 토크는 슬립주파수에 비례한다.

2.2.2 전압 입력형 FAM법에 의한 회생전력

회생전력은 과도항을 무시하면 (9)이다.

$$P_{\text{reg}} = 3\omega_m \frac{P}{2} \left(\frac{3M\alpha}{2} \right)^2 s\omega |I_0^o|^2 \frac{\sqrt{(R_2\alpha)^2 - (s\omega L_2\alpha)^2}}{(R_2\alpha)^2 + (s\omega L_2\alpha)^2} \cos \theta_2 \quad (9)$$

그림 1은 인버터 동작에서 전동기의 1상분의 회생동작 모델이다.

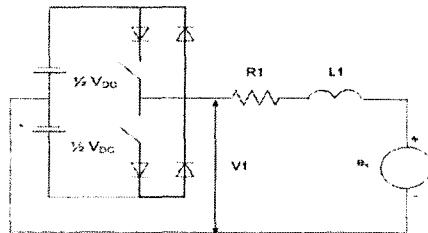


그림 1 회생동작모델(1상분)

어떤 PWM 주기에서 전동기가 회생동작이 된다고 하면 회생된 에너지는 (10)이다.

$$E = -(2r_{\text{PWM}} - 1) \frac{1}{f_{\text{PWM}}} I_1 \frac{1}{2} V_{\text{DC}} \quad (10)$$

이 PWM 주기의 평균 회생전력은 $-I_1 V_1$ 이다.

2.3 속도제어

구동시스템에 사용한 전동기는 300[W]이고 그 정격 및 정수는 표 1에 나타냈다. 회전 속도범위는 0~3000rpm이고 대응하는 동기주파수는 0~50Hz이다. 전압지령형 인버터를 사용하고, 토크 제어는 전압형 FAM법을 이용한다. $|I_0^o|$ 는 0.5A이하로 제한 둔다.

표 1 전동기 정수

여자 전류	0.5A	R_1	5.86
K_{el}	0.1163	R_2	5.3
K_{sw}	127	L_1	0.164
토오크정수	0.0765Nm	M	0.143

2.3.1 제어 알고리즘

토크 지령치 T^* 는 게인(gain)을 K_p , 속도오차를 ω_e 로 하면 (11)이다.

$$T^* = K_p \cdot \omega_e \quad (11)$$

토크 지령에 대한 슬립주파수는 (12)이다.

$$s\omega^* = K_{sw} \cdot T^* \quad (12)$$

여자전압 e_1 는 (13)으로 구해진다.

$$e_1 = K_{el} \omega e^{j(\omega t + \phi_0 + \frac{\pi}{2})} \quad (13)$$

전압 지령치는 여자전압에 R_1 에 의한 전압강하를 보상하여 (14)이다.

$$V_1^* = R_1 i_1 + K_{el} \omega \cos(\omega t + \phi_0) \quad (14)$$

3. 시뮬레이션 및 실험결과

3.1 구동실험

그림 2는 속도 지령을 3000rpm으로 했을 때의 속도응답이다. 그림에서 가속 부분은 대체로 일정 가속으로 되며 토크 제어가 정상으로 행해지고 있는 것을 나타내고 있다.

그림 3은 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, 점성제동 계수가 정확하지는 않기 때문이라 여겨진다.

그림 4은 속도 지령치 864 [rpm], 1728 [rpm], 1944 [rpm]에 대한 속도응답을 나타낸 것이다. 모든 정수는 표 1의 것을 이용했다. 모두 정상적으로 안정하게 동작하고 있지만 저속에서는 토크 맥동이 심한 것을 볼 수 있다.

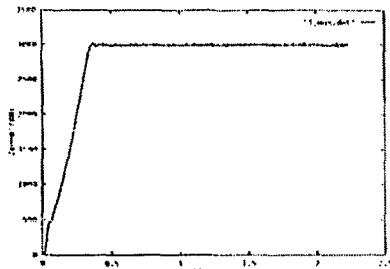


그림 2 속도 응답(3000rpm)

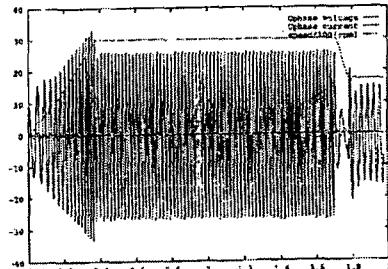


그림 5 감속 시에 전압, 전류파형

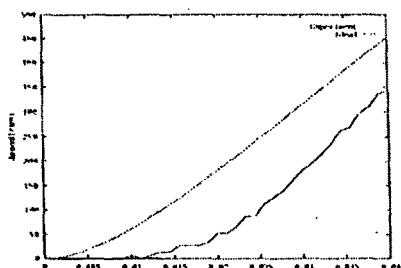


그림 3 가속 시 속도 응답(3000rpm) 확대

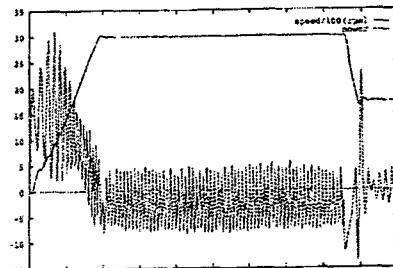


그림 6 전력회생

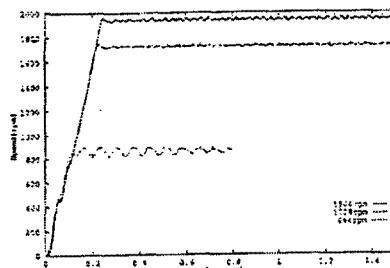


그림 4 속도 응답

3.2 회생전력

그림 5는 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 6은 그림 5와 같은 조건의 실험에서 전압과 전류에서 전력을 구해 출력(Plot)한 것이다. 이것에서 제동시의 전력 회생을 확인 가능하다. 또 정상운전 시에 전력이 진동하고 있지만 이것은 앞에서 서술한 토크 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.

4. 결 론

- (1) 전류입력형과 전압입력형 FAM법을 검토하여 전압입력형 FAM법의 유효성이 확인되었다.
- (2) 전압지령형 인버터에 의해 유도전동기 전력회생구동 시스템은 구성이 간편하고 설계가 쉬운 형으로 회생전력을 취할 수 있는 것을 나타내었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 山村 昌, 交流回路と交流機のスパイral ベクタ理論, 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.