

영구자석 동기전동기의 회전자 초기위치 검출법

안 준 영^u, 유 완 식^{*}, 김 영 석
인하대학교 전기공학과, 특허청^{*}

A Detecting Method of Initial Rotor Position for Permanent Magnet Synchronous Motor

Jun-Young Ahn^u, Wan-Sik You^{*}, Young-Seok Kim
Inha University, KIPO^{*}

Abstract - This paper describes a new detecting method of initial rotor position for PMSM without a position sensors. The proposed method uses the fact that the back-EMF is differently generated according to the initial rotor position of Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM). The voltage with short duty is impressed to each phase at standstill. Then, we can detect the rotor position by comparing the amplitudes and signs of three phase current each other. Experimental results show the validity of the proposed method.

1. 서 론

지금까지 산업현장의 많은 분야에는 직류전동기가 사용되어 왔다. 직류전동기는 제어가 매우 용이하고 제어범위도 넓으며 제어성능이 뛰어나다는 장점을 갖고 있다. 그러나 기계적인 정류기구를 갖고 있어서 브러시의 마모, 정류불꽃의 발생 등의 단점들을 가지고 있다. 이에 산업용 전동기 구동에서 마이크로 프로세서 및 전력용 반도체 소자를 이용한 교류전동기 구동이 요구되어 왔다. 근래에는 직류전동기가 가지는 제어성능과 직류전동기의 결점인 브러시와 정류자가 없는 브러시리스 직류 전동기(Brushless DC Motor)나 영구자석 동기전동기(Permanent Magnet Synchronous Motor)의 적용이 점차 확대되고 있는 실정이다.

그러나 영구자석 동기전동기는 동작원리상 회전자의 정확한 위치를 파악해야만 전류제어가 가능하다. 위치정보를 얻기 위해 절대 엔코더, 레졸버, 홀 센서 등을 사용하여 왔다. 그러나 이러한 위치 검출기는 일반적으로 고가이고 배선이나 구조가 복잡하여 사용환경에 제한을 받는다. 따라서 최근에는 위치검출기를 이용하지 않는 PMSM의 센서리스 제어가 활발히 연구되고 있다. 센서리스 제어에 있어

서, 해결할 가장 중요한 것 중의 하나가 초기 위치 검출에 대한 문제이다. PMSM은 정지하고 있는 상태에서는 역기전력을 포함한 어떤 정보도 얻을 수 없기 때문에 정지상태에서의 초기위치 검출은 사실상 불가능하다. 그러나 초기위치가 정확하지 않으면 기동토크가 작아지고 전동기의 회전방향이 역전하는 문제가 발생하여 위험을 초래할 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위한 연구는 활발히 진행되어 왔으며 그 예는 다음과 같다. S. Ogasawara^[1]와 N. Matsui^[2] 등은 매우 짧은 시간에 인버터에 게이트 패턴 신호를 여러번 주어 특정방향으로 자속이 형성되고, 회전자가 회전하여 특정방향으로 정렬되는 방식, 또한 K. Iizuka^[3]와 R. Wu^[4]는 미리 프로그램된 패턴에 따라 천천히 증가시켜 가며 전동기를 천천히 기동하고 전동기의 속도가 센서리스 알고리즘에 맞는 정상적인 속도이상이면 운전방식을 센서리스 제어로 전환하는 방법을 제안하였다. 이상의 방법들은 구현이 복잡하여 실제시스템에 적용이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문은 초기에 매우 짧은 듀티의 일정한 전압을 각 상간에 인가하고 그때 흐르는 각 상간의 전류차를 이용하는 간단하면서도 정확성을 갖는 초기위치 검출법을 제하고 실험을 행하여 전기각으로 $\pi/12$ 이내의 회전자 초기위치를 판별할 수 있음을 보인다.

2. 초기 위치 검출법

본 연구에서는 정지상태에서 PMSM의 회전자 위치에 대한 정보를 얻기 위해 매우 짧은 시간에 구형과 형태의 전압(시험 입력)을 인가하여 회전자의 위치를 알아내는 방법을 보인다.

2.1 초기 위치 검출 원리

그림 1과 같이 3상 인버터에 A형 입력(A 상: + B, C 상: -)을 인가하면 다음 회로 방정식이 성립한다.

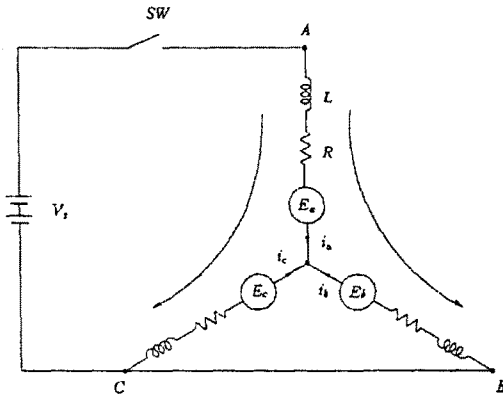


그림.1 A형 입력 (A+ B- C-) 인가시 등가 회로

$$V_s = L \frac{di_a}{dt} + Ri_a + E_a - L \frac{di_b}{dt} - Ri_b - E_b \quad (1)$$

$$V_s = L \frac{di_a}{dt} + Ri_a + E_a - L \frac{di_c}{dt} - Ri_c - E_c \quad (2)$$

식(1)과 식(2)의 차로부터 식(3)을 얻을 수 있다.

$$L \frac{d}{dt} (-i_b - i_c) + R(-i_b - i_c) - (E_b - E_c) = 0 \quad (3)$$

식(3)으로부터 미분 방정식을 풀면 식(4)와 같다.

$$(i_b - i_c)(t) = -\frac{(E_b - E_c)}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) \quad (4)$$

여기서, 초기값 $i_b - i_c = 0$

그리고, A형 입력에서 회전자를 360° 회전시켰을 때, 역기전력은 다음과 같다.

$$E_a = -K_E \omega \sin(\theta_e + \frac{\pi}{6}) \quad (5)$$

$$E_b = -K_E \omega \sin(\theta_e + \frac{\pi}{6} - \frac{2\pi}{3}) \quad (6)$$

$$E_c = -K_E \omega \sin(\theta_e + \frac{\pi}{6} + \frac{2\pi}{3}) \quad (7)$$

식(6)에서 식(7)을 뺀으로 B상과 C상의 역기전력의 차를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} E_b - E_c &= -K_E \omega \left(\sin(\theta_e + \frac{\pi}{6} - \frac{2\pi}{3}) - \sin(\theta_e + \frac{\pi}{6} + \frac{2\pi}{3}) \right) \\ &= \sqrt{3} K_E \omega \cos(\theta_e + \frac{\pi}{6}) \end{aligned} \quad (8)$$

식(8)을 식(4)에 대입하면,

$$i_b - i_c = -\frac{\sqrt{3}}{R} K_E \omega (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) \cos(\theta_e + \frac{\pi}{6}) \quad (9)$$

$$i_b - i_c = -K_\theta(t) \cos(\theta_e + \frac{\pi}{6}) \quad (10)$$

여기서, $K_\theta(t) = \frac{\sqrt{3}}{R} K_E \omega (1 - e^{-\frac{R}{L}t})$

$$\theta_e = \left\{ \cos^{-1}(-i_b - i_c / K_\theta(t)) - \frac{\pi}{6} \right\} \quad (11)$$

이와 같이 회전자 위치에 따라 E_b, E_c 가 다르며

로 B상과 C상의 전류차가 발생한다. 따라서 상 전류차 $i_b - i_c$ 는 회전자 위치결정의 중요한 정보가 된다. 그러나 이 방법의 문제점은 속도 ω 의 정확한 추정이 필요하고 실제 검출된 전류에는 약간의 오차가 포함된다. 따라서 전류 부호와 크기, 변화율을 이용하여 위치를 판별하는 방법을 제안한다. 앞의 방법과 마찬가지로 B형 입력(B+, A-, C-)과 C형 입력(C+, A-, B-)을 가한다.

$$i_c - i_a = K_\theta(t) \cos(\theta_e + \frac{\pi}{2}) \quad (12)$$

$$i_a - i_b = K_\theta(t) \cos(\theta_e - \frac{\pi}{6}) \quad (13)$$

이와 같이 각 상간 전류차를 나타낼 수 있다. 이상의 관계를 그림 2의 그래프로 나타낼 수 있다.

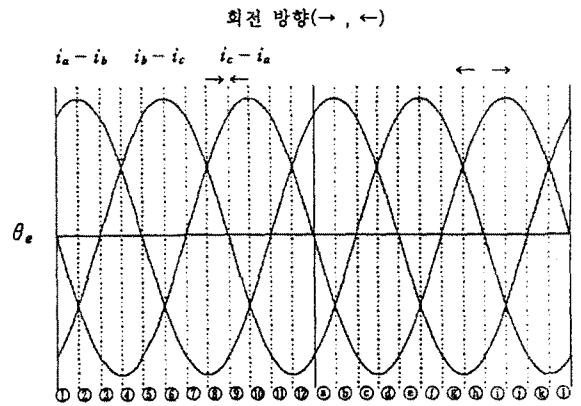


그림.2 시험 입력 인가시 상간 전류차 파형

2.2 회전자 회전방향을 이용한 두 구간 판별.

그림 2에서 회전방향은 A형 입력을 인가하였을 때를 기준으로 $0 \sim 4\pi/3, 10\pi/3 \sim 4\pi$ 구간에서는 회전방향이 시계방향으로 $4\pi/3 \sim 10\pi/3$ 구간에서는 회전방향이 반시계방향으로 진행된다. A형 입력을 2회 가해줌으로써 이러한 움직임을 이용한 2회의 상 전류차 값을 얻고 미소 변화량인 $\Delta |i_b - i_c|$ 의 부호를 판별하여 전기각 2π 차이를 구별할 수 있다.

$$\Delta |i_b - i_c| = |i_b - i_c|_1 - |i_b - i_c|_2 \quad (14)$$

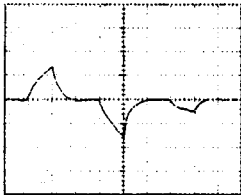
표 1은 상간 전류차의 부호와 크기에 따라 12구간으로 나눈 것을 표시하였다. 결과적으로 4회(A형 입력 2회, B형, C형 입력 각 1회)의 시험입력을 인가하여 얻어진 각각의 결과로부터 추정된 θ_e 의 구간에서 중심되는 부분을 추정위치라 놓으면 최대 전기각 $\pi/12$ 의 오차범위 내에서 초기 위치 검출이 가능하다. 이상에서 설명한 바와 같이 회전자 초기각 정보를 알기 위해 상전류를 측정하고 각 상 전류차 $i_a - i_b, i_b - i_c, i_c - i_a$ 를 구하는 실험을 행하였다.

표.1 각 구간에서의 전류 부호와 대소

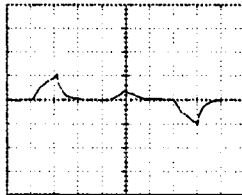
구 간	$i_c - i_a$	$i_b - i_c$	$i_a - i_b$	$\Delta i_b - i_c $		구 간
				0 ~ 2 π	2 π ~ 4 π	
①	-	⊖	+	-	+	Ⓐ
②	⊖	-	+	-	+	Ⓑ
③	-	+	⊕	+	-	Ⓒ
④	-	⊕	+	+	-	Ⓓ
⑤	⊖	+	-	+	-	Ⓔ
⑥	-	+	⊖	-	+	Ⓕ
⑦	+	⊕	-	-	+	Ⓖ
⑧	⊕	+	-	-	+	Ⓗ
⑨	+	-	⊖	-	+	Ⓘ
⑩	+	⊖	-	-	+	Ⓛ
⑪	⊕	-	+	-	+	Ⓚ
⑫	+	-	⊕	+	-	Ⓜ

여기서, ⊕, ⊖ 표시는 부호가 같은 경우 전류값이 큰 쪽을 의미함

실험 결과



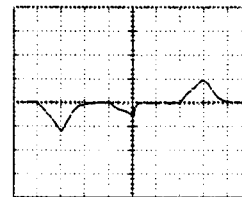
구간 ①.



구간 ③.



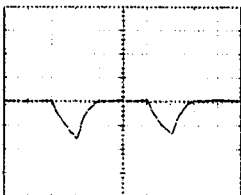
구간 ⑥.



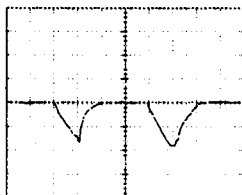
구간 ⑨.

그림 3(a). 각 구간별 상 전류차 파형

왼쪽부터 $i_a - i_b, i_b - i_c, i_c - i_a$



구간 ①.



구간 ⑥.

그림 3(b). A형 2회 입력시 $i_b - i_c$ 파형
왼쪽부터 $|i_b - i_c|_1, |i_b - i_c|_2$

그림 3에서 구간별 실험 전류 파형을 나타냈다. [H: 250 mV/div], [V: 500 μsec/div]. 여기에 보인 전류는 CT에 출력된 전압값으로 보였다. 그림 3 (a)에서 구간1, 3, 6, 9의 전류파형을 나타낸다. 그 중 구간1의 전류 부호와 대소를 살펴보면, $i_a - i_b$ 는 (+), $i_b - i_c, i_c - i_a$ 는 (-)값을 가지고 (-)값 중에 $i_b - i_c$ 가 $i_c - i_a$ 보다 큰 전류값을 가짐을 알 수 있다. 이와 같이 12구간의 전류 부호와 대소가 표.1과 같음을 알 수 있다. 그림 3 (b)는 구간1과 구간⑥는 같은 전류 부호와 대소를 가지므로 A형 입력시 회전자가 움직이는 위치의 방향으로 두 구간을 구별한다. 구간1에서는 시계방향으로, 구간⑥에서는 반시계방향으로 회전자가 움직여 식(14)에 따른 $\Delta |i_b - i_c|$ 의 부호가 다름을 이용하여 두 구간의 판별이 가능하다.

4. 결 론

본 논문에서 PMSM의 새로운 회전자 초기위치 검출법을 제안하였다. 매우 짧은 시간동안 일정한 시험 입력을 인가하여 상간에 흐르는 전류차를 이용하는 간단한 방법으로 초기위치를 전기각으로 $\pi/12$ 이내로 판별할 수 있음을 실험 결과들을 통해 확인하였다. 추후 과제는 조금 더 정밀하고 미소 움직임을 배제한 초기위치 검출법의 연구가 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] S. Ogasawara and H. Akagi, "An Approach to Position Sensorless Drive for Brushless DC Motors." IEEE Trans. on Ind. Appl., vol IA_27, No.5, pp. 928-933, 1991.
- [2] N. Matsui, "Sensorless PM Brushless DC Motor Drives." IEEE Trans. on Ind. Elec., vol 43, No.2, pp. 300-308, April 1996.
- [3] K. Iizuka, H. Uzuhashi, M Kano, T Endo and K. Mhori, "Microcomputer Control for Sensorless Brushless Motor." IEEE Trans. on Ind. Appl., vol IA_21, No.4, pp. 595-601, 1985.
- [4] R. Wu and G. R. Slemon, "A Permanent Magnet Motor Drive Without a Shaft Sensor." IEEE Trans. on Ind. Appl., vol-27, No.5, pp. 1005-1011, 1991.