

이 광 원\*  
박 송 배

아주대학교  
과학기술원

1. 서 론

브러시리스 전동기의 전기자 전류를 제어하기 위하여 PWM 을 많이 이용한다. 이때 전기자 각 상의 전류는 결국 자속분포가 정현적 이라고 가정하면 회전자 속도와 동기되는 정현파 이어야 하므로 PWM 제어회로의 기준전류를 정현파로 만들어 주어야 한다. 정확한 정현파열의 빠른 발생을 위하여 그림 1과 같이 회전자 위상에 따른 삼각함수의 값을 ROM 에 기억시키고 D/A 변환기를 사용하면 정현파와 어떤파의 기준 전류를 얻을 수 있다.[1][2]

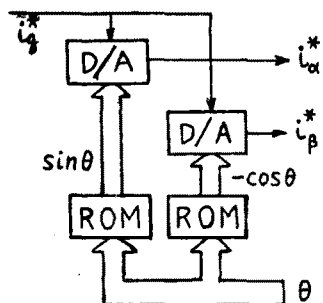


그림 1. 기준전류 파형의 발생회로

위와 같은 방법에서 삼각함수의 값은 회전자 위상을 8 bit 로 나타내는 경우 1 주기 값을 위한 ROM address 가 256 개 필요하며 2 상분을 기억시키려면 512 개가 필요하다. 그러나 PWM 으로 인한 전류의 맥동을 고려한다면 구태어

이와 같이 많은 data 를 기억시키지 않아도 될 것으로 생각되어 회전자 위치를 세분하지 않고 몇 개의 구간의 산수만으로 삼각함수를 근사시키는 경우의 torque 맥동을 계산하였다.

2. 회전자 위치를 세분하지 않은 경우의 기준전류 파형 및 torque 맥동

2상 브러시리스 전동기에서 전기자 권선  $\alpha$ 상,  $\beta$ 상과 회전자의 직축 및 횡축 사이의 상수를 회전자 위상  $\theta$ 에 대하여 다음 식으로 표현되게 정하면

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ \sin\theta & -\cos\theta \end{bmatrix} = C^{-1} \quad (1)$$

기준전류

$$\begin{bmatrix} i_\alpha^* \\ i_\beta^* \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} i_d^* \\ i_q^* \end{bmatrix} \quad (2)$$

가 되어 직류 기준전류  $i_d^*$ ,  $i_q^*$ 로부터 PWM 을 위한 교류 기준전류  $i_\alpha^*$ ,  $i_\beta^*$ 를 구할 수 있다. 직축 기저력이 없도록  $i_d^* = 0$  인 경우를 생각하면  $i_\alpha^*$ ,  $i_\beta^*$ 는  $i_q^*$ 와  $\theta$ 만의 함수가 되는데  $\theta$ 를 세분하지 않고 기준전류를 다음과 같이 만든다고 가정한다.

$$i_\alpha^* = g_\alpha(\theta) i_q^*, \quad i_\beta^* = g_\beta(\theta) i_q^* \quad (3)$$

PWM 으로 전류 오차가 없이 제어하였다고 하면

$$\begin{aligned} i_\alpha &= i_\alpha^* = g_\alpha(\theta) i_g^* \\ i_\beta &= i_\beta^* = g_\beta(\theta) i_g^* \end{aligned} \quad (4)$$

를 얻어서 공극 자속분포가 정현 분포라면

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} &= C \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} g_\alpha(\theta) \cos \theta + g_\beta(\theta) \sin \theta \\ g_\alpha(\theta) \sin \theta - g_\beta(\theta) \cos \theta \end{bmatrix} i_g^* \end{aligned} \quad (5)$$

가 된다.

전동기의 영구자석 자기회로의 자기저항이 커서 직축분 전류  $i_d$ 가 직축 자속어 영향을 주지 않는다면

$$\frac{i_d}{i_g^*} = g_\alpha(\theta) \sin \theta - g_\beta(\theta) \cos \theta \quad (6)$$

가 1에 가깝도록  $m_\alpha(\theta)$ ,  $m_\beta(\theta)$ 를 몇개 구간의 상수로 하여도 좋다.

1)  $\theta$ 를  $45^\circ (\frac{\pi}{4})$  간격으로 구분할 때.

$m_\alpha(\theta)$ ,  $m_\beta(\theta)$ 를 다음과 같이 잡는다.

구간	$\theta$ 의 범위	$m_\alpha(\theta)$	$m_\beta(\theta)$
1	$-22.5^\circ \leq \theta < 22.5^\circ$	0	$-m_0$
2	$22.5^\circ \leq \theta < 67.5^\circ$	$m_1$	$-m_1$
3	$67.5^\circ \leq \theta < 112.5^\circ$	$m_0$	0
4	$112.5^\circ \leq \theta < 157.5^\circ$	$m_1$	$m_1$
5	$157.5^\circ \leq \theta < 202.5^\circ$	0	$m_0$
6	$202.5^\circ \leq \theta < 247.5^\circ$	$-m_1$	$m_1$
7	$247.5^\circ \leq \theta < 292.5^\circ$	$-m_0$	0
8	$292.5^\circ \leq \theta < 337.5^\circ$	$-m_1$	$-m_1$

구간 1에서  $i_d/i_g^* = g_0 \cos \theta$  이며 같은 모양이 반복되어야 하므로 구간 2에서는  $i_d/i_g^* = g_1(\sin \theta + \cos \theta) = g_0 \cos(\theta - 45^\circ)$  이어야 한다. 각 구간에서  $i_g$ 의 평균값  $\bar{i}_g$ 가  $i_g^*$ 와 같게 하려면  $\frac{1}{\pi} g_0 \sin \frac{\pi}{2} = 1$ 을 얻는다. 따라서

$$g_0 = \frac{\pi/8}{\sin \frac{\pi}{8}} = 1.026$$

$$g_1 = g_0 \cos \frac{\pi}{4} = 0.726 \quad (7)$$

이며 이때  $i_g$ 의 맥동분  $i_{gr}$ 은 peak-to-peak로

$$\left( \frac{i_{gr}}{i_g^*} \right)_{P-P} = g_0(1 - \cos \frac{\pi}{8}) = 0.078 \quad (8)$$

2)  $\theta$ 를  $30^\circ (\frac{\pi}{6})$  간격으로 구분할 때.

3구간만 계산하면 나머지 구간은 같은 조건이므로  $m_\alpha$ ,  $m_\beta$ 를 3구간에서 다음과 같이 잡는다.

구간	$\theta$ 의 범위	$m_\alpha$	$m_\beta$
1	$-15^\circ \leq \theta < 15^\circ$	0	$-m_0$
2	$15^\circ \leq \theta < 45^\circ$	$m_2$	$-m_1$
3	$45^\circ \leq \theta < 75^\circ$	$m_1$	$-m_2$

앞의 경우와 같은 계산에서

$$g_0 = \frac{\pi/12}{\sin \frac{\pi}{12}} = 1.011$$

$$g_1 = g_0 \cos \frac{\pi}{6} = 0.876$$

$$g_2 = g_0 \cos \frac{\pi}{3} = 0.506 \quad (9)$$

$$\left( \frac{i_{gr}}{i_g^*} \right)_{P-P} = g_0(1 - \cos \frac{\pi}{12}) = 0.034 \quad (10)$$

3)  $\theta$ 를  $15^\circ (\frac{\pi}{12})$  간격으로 구분할 때.

구간	$\theta$	$m_\alpha$	$m_\beta$
1	$-7.5^\circ \leq \theta < 7.5^\circ$	0	$-m_0$
2	$7.5^\circ \leq \theta < 22.5^\circ$	$m_5$	$-m_1$
3	$22.5^\circ \leq \theta < 37.5^\circ$	$m_4$	$-m_2$
4	$37.5^\circ \leq \theta < 52.5^\circ$	$m_3$	$-m_3$
5	$52.5^\circ \leq \theta < 67.5^\circ$	$m_2$	$-m_4$
6	$67.5^\circ \leq \theta < 82.5^\circ$	$m_1$	$-m_5$

앞에서와 마찬가지로

$$g_0 = \frac{\pi/24}{\sin \frac{\pi}{24}} = 1.003$$

$$g_1 = g_0 \cos 15^\circ = 0.969$$

$$g_2 = g_0 \cos 30^\circ = 0.869$$

$$g_3 = g_0 \cos 45^\circ = 0.709$$

$$g_4 = g_0 \cos 60^\circ = 0.501$$

$$g_5 = g_0 \cos 75^\circ = 0.260 \quad (11)$$

$$\left( \frac{I_{gr}}{I^*} \right)_{pp} = g_0 (1 - \cos \frac{\pi}{24}) = 0.009 \quad (12)$$

이 된다.

### 3 결론

브러시리스 전동기를 전류제어 PWM 으로 구동 할때 회전자 위상을 세분하지 않고 기준전류를 만들어도 토크의 맥동이 크지 않게 할 수 있다는 것을 확인하였다. PWM 에서의 맥동을 생각한 다면 대부분의 경우 회전자 위상을 30 도 간격으로 구분하여 중분할 것으로 생각되며 이렇게 함으로써 기준전류를 위한 회전자 위상을 8 bit 로 할때 필요하였던 256 개의 data를 12 개로 줄일 수 있다. 3 상의 경우도 같은 원리를 적용 할 수 있다.

### 참고문헌

[1] Pfaff, G. et al., "Design and experimental results of a brushless ac servo drive." IEEE Trans., IA-20(4), pp 814-821, 1984

[2] 土手康彦, 木下 斌, "브러시리스サーボ E-θ의基礎と応用, 総合電子, 1985.