

BLDC 모터에서 전류시간이 토크맥동에 미치는 영향에 관한 연구

論 文

50B-1-4

A Study on the Influence of Commutation Time on Torque Pulsating in BLDCM

金哲株* · 姜秉熹** · 睦亨洙*** · 崔圭夏§

(Choel-Ju Kim · Byoung-Hee Kang · Hyoung-Su Mok · Gyu-Ha Choe)

Abstract - A BLDC motor has a serious drawback that torque pulsation is generated in every commutation period though it has many advantages compared to the conventional DC Motor. In this paper, the influence of commutation time on torque pulsation is studied. Generally in calculating the torque of BLDC motor, it is assumed that the decaying phase back EMF is constant, but the torque model considering decaying phase back EMF is introduced here. Through it, the torque in commutation period has torque pulsation component caused by commutation itself and it cannot be removed perfectly even if there is no current pulsation. To reduce the torque pulsation, a new method is proposed, which controls a point of commutation and the optimal point of commutation is found. Simulation shows that proposed method reduces the torque pulsation considerably.

Key Words : BLDCM, commutation, commutation time, commutation point, torque ripple

1. 서 론

역기전력의 형태가 사다리꼴인 BLDCM(Brushless DC Motor)은 단위전류당 높은 토크, 간단한 구동방식, 무보수성, 견고성 등의 장점을 가지고 있는 반면 전환(轉換, commutation)으로 인한 토크맥동이 발생한다는 단점도 가지고 있다. 이는 고정밀도를 요구하는 분야에 대한 BLDCM의 응용을 제한하는 걸림돌로 작용하고 있다.

R. Carlson은 1992년에 DC링크전압과 역기전력과의 관계를 통하여 속도와 전환형태 사이의 관계를 발표하였다. 이 논문에서 저자는 도통 및 전환구간의 토크가 모두 비전환상 전류(noncommutating current)에 비례함을 보이고 이 전류를 일정하게 제어함으로써 토크맥동을 제거할 수 있음을 제안하였고[3], 이러한 전류제어의 관점에서 토크맥동을 저감하려는 많은 연구가 진행되어 왔다. 대표적인 연구로는 DC링크 전류를 일정하게 제어하는 방법[1], off상 전류를 지연시켜 토크리플을 억제하는 방법[2], 비전환상 전류를 일정하게 제어하는 방법[3], 모터와 인버터간의 중성점전압을 비전환상 전류제어에 전향보상하는 방법[4], off상 전류의 스위칭을 통해 상승/감쇄기울기를 동일하게 유지하여 비전환상 전류를 일정하게 하는 방법[5] 등이 있다.

본 연구에서는 감쇄상 역기전력을 고려한 토크모델을 유도하여 도통 및 전환구간의 토크가 다름을 보이고 이를 통해 전환구간에서 나타나는 불가피한 토크맥동을 수학적으로 정의하였다. 이것은 전류제어를 통해 전류의 맥동이 발생하지 않는 경우에도 전환자제에 의해 나타나는 맥동성분으로 전환구간의 토크맥동이 전류맥동뿐만 아니라 전환시간 자체에 의해서도 영향을 받음을 알 수 있다.

전압원 인버터를 구성하여 모터를 구동하는 경우, 모터권선에 존재하는 인덕턴스 성분과 인버터 DC링크전압의 유한성 때문에 전환이 순간적으로 일어날 수 없고 유한한 시간을 필요로 하게 되며 이 유한한 전환시간에 의해 토크맥동이 발생하게 된다. 따라서 전환이 존재하는 한 전류맥동에 의한 토크맥동이 없는 경우에도 토크맥동은 불가피하게 나타난다.

또한 전환시간에 의해 나타나는 토크맥동을 저감할 수 있는 방식을 제안하였다. 전환시간은 모터의 전기적 시정 수에 의해 발생하는 것으로 시간자체를 감소시키는 것은 어렵지만 전환시점을 제어하면 토크맥동을 상당히 저감할 수 있다. 전환시점에 따라 토크맥동이 분리되는 현상을 보이고 이를 통해 최적의 전환시점을 제안하였다.

2. BLDC 모터의 토크

그림 1은 120° 도통방식을 갖는 BLDCM의 이상적인 역기전력 및 전류파형을 나타내고 있다. 일반적으로 BLDCM은 3상 2여자방식으로 구동되며 2상에 전류가 흐르는 도통구간(conduction period)과 3상에 전류가 흐르는 전환(commutation period)구간으로 나눌 수 있다. 그림 1에서 알 수 있는 것처럼 역기전력이 평탄한 120° 도통구간에서 이상적인 구형파

* 準 會 員 : 建國大 電氣學科 碩士課程

** 準 會 員 : 建國大 電氣學科 博士課程

*** 正 會 員 : 建國大 電氣學科 助教授 · 工博

§ 正 會 員 : 建國大 電氣學科 教授 · 工博

接受日字 : 2000年 6月 19日

最終完了 : 2001年 1月 10日

전류를 인가하면 맥동없는 일정한 토크를 얻을 수 있다. 그러나, 모터권선의 인덕턴스 성분이나 유한한 DC링크전압(전압원 인버터의 경우) 등으로 인하여 실제로 구형파 전류를 인가하는 것은 불가능하며 따라서 전류의 상승 및 감쇄시에 유한한 시간을 필요로 하게 된다. 그리고 이로 인해 나타나는 전류맥동은 토크맥동을 유발시킨다.

일반적으로 BLDCM에서 토크를 계산하는 경우 감쇄상 역기전력이 일정하다고 가정하여 도통 및 전환구간 모두에서 토크가 전류에 비례하며[3], 전환구간에서 발생하는 토크맥동의 원인은 전류맥동에 있다고 알려져 있다. 본 절에서는 먼저 기존의 토크식에 대해 알아보고 다음으로 본 논문에서 제안하고자 하는 감쇄상의 역기전력을 고려한 토크식을 유도하여 도통구간과 전환구간의 토크 표현이 서로 다를음을 보이고 기존의 토크식과의 비교를 통하여 전환구간에서 발생하는 토크맥동의 불가피성을 수학적으로 정의하려고 한다.

본 논문에서 사용된 가정은 다음과 같다.

- 1) BLDCM은 역기전력의 평탄한 구간이 120°인 이상적인 사다리꼴을 가지고 있다.
- 2) 각상의 역기전력은 120°의 위상차를 가지고 있다.
- 3) 각상의 저항과 인덕턴스는 동일하며 회전자의 위치에 따른 인덕턴스의 변화는 무시한다.

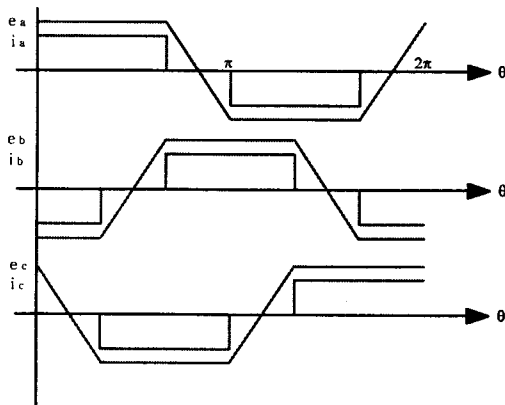


그림1. BLDCM의 이상적인 역기전력과 전환
Fig.1 Ideal back EMF and current of BLDCM

2.1 2상도통구간의 토크

그림2는 전환구간을 확대한 것으로 전류파형은 전기적으로 60°마다 반복되기 때문에 임의의 한 구간을 해석하여 전구간에 적용하도록 하며 모터에서 발생하는 토크는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_e = \frac{1}{\omega_m} (e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c) \quad (1)$$

2상도통(이하 도통)의 경우, 도통된 2상의 전류와 역기전력

은 서로 크기는 같고 부호는 반대이며 비도통상의 전류는 영이므로 토크생성에 기여하지 않는다.

a상과 c상이 도통된 경우 각상의 전류와 역기전력은 다음과 같다.

$$i_a = -i_c = I, i_b = 0 \quad (2)$$

$$e_a = -e_c = E, e_b = \frac{6E}{\pi} \theta + E \quad (3)$$

여기서, i_a, i_b, i_c 는 a,b,c상 전류, e_a, e_b, e_c 는 a,b,c상 역기전력, E 는 역기전력의 최대치, I 는 전류, θ 는 회전자의 위치를 각각 나타낸다.

식(2),(3)을 식(1)에 대입하여 정리하면 식(4)를 얻으며 T_e 는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} T_e &= \frac{1}{\omega_m} [E \cdot I + e_b \cdot 0 + (-E) \cdot (-I)] \\ &= \frac{2EI}{\omega_m} = \frac{2E}{\omega_m} i_a \end{aligned} \quad (4)$$

2상도통시의 토크는 속도와 역기전력의 최대치가 일정하다고 가정할 경우 도통된 상의 전류에 비례하며 이를 일정하게 제어함으로써 토크맥동을 제거할 수 있다.

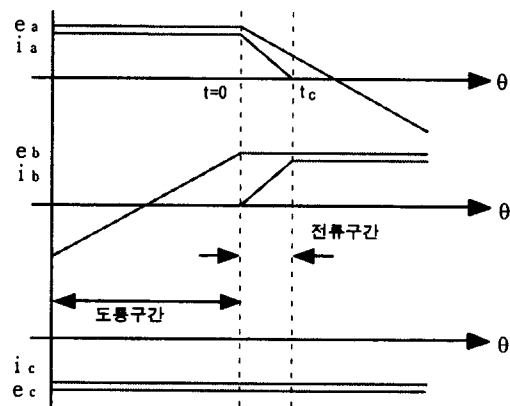


그림2. 도통 및 전환구간
Fig.2 Conduction and commutation period

2.2 전환구간의 토크

ac상에서 bc상으로 전환이 일어나는 경우의 각상의 전류와 역기전력은 식(5),(6)과 같다. 전환구간에서 역기전력의 크기는 일정하다고 가정하였다.

$$i_a = -\frac{I}{t_c} \theta + I, i_b = \frac{I}{t_c} \theta, i_c = -I \quad (5)$$

$$e_a = e_b = -e_c = E \quad (6)$$

여기서 t_c 는 전환시간을 나타낸다. 전환구간에서 상승 및 감쇄상의 전류가 전환시간 t_c 내에서 같은 기울기를 가지고 동시에 기준치에 도달하게 되면 비전환상 전류는 일정하게 유지되어 토크맥동이 저감된다. 식(5),(6)에서 a상은 감쇄상, b상은 상승상, c상은 비전환상이다. 식(5),(6)을 이용해서 토크를 구하면 다음과 같다.

$$T_e = \frac{1}{\omega_m} \left[E \cdot \left(-\frac{I}{t_c} \theta + I \right) + E \cdot \frac{I}{t_c} \theta + E \cdot I \right] = \frac{2EI}{\omega_m} = -\frac{2E}{\omega_m} i_c \quad (7)$$

식(4), 식(7)에서 알 수 있듯이 기존의 토크모델에서는 전환구간과 2상도통구간에서 동일한 표현식으로 나타나며 모두 전류에 비례함을 알 수 있다. 일반적으로 속도 제어기의 제어주기가 전류제어기의 제어주기에 비해 상당히 크기 때문에 속도를 일정하다고 가정할 수 있으며 따라서 전류를 일정하게 제어함으로써 맥동없는 토크를 얻을 수 있다.

2.3 감쇄상 역기전력을 고려한 전환구간의 토크모델

식(7)에서 전환시의 토크를 고려할 때, 역기전력의 평탄한 구간이 120° 보다 큰 경우, 또는 저속에서와 같이 전환구간이 도통구간보다 상대적으로 짧은 경우에는 감쇄상의 역기전력이 일정하다는 가정이 유효하다. 그러나 속도의 증가에 따라 전환시간은 증가하게 되고, 일반적인 BLDCM의 경우 역기전력의 평탄한 구간이 120° 이하이기 때문에 전환구간에서 감쇄상의 역기전력이 일정하다고 볼 수 없다.

실제 감쇄상 역기전력을 고려하면 식(6)에서 e_a 는 다음과 같으며,

$$e_a = -\frac{6E}{\pi} \theta + E \quad (8)$$

그때의 토크를 구하면 식(9)와 같이 표현된다.

$$T_e = \frac{1}{\omega_m} \left[\left(-\frac{6E}{\pi} \theta + E \right) \cdot \left(-\frac{I}{t_c} \theta + I \right) + E \cdot \frac{I}{t_c} \theta + (-E) \cdot (-I) \right] = \frac{2EI}{\omega_m} + \frac{6k_e I}{\pi} \left(\frac{\theta^2}{t_c} - \theta \right) = T_i + T_k \quad (9)$$

여기서, T_i 는 전환에 의한 출력토크, T_k 는 전환시간에 의한 토크맥동이다. 전환구간에서의 발생토크 T_e 는 전류에 의한 출력토크 T_i 와 전환시간에 의한 토크맥동 T_k 로 구성되어 있음을 알 수 있다. T_i 는 전류에 의해 실질적인 출력토크를 발생시키고 전류에 맥동이 있을 경우 토크맥동으로 나타나며, T_k 는 전환시간 t_c 의 존재에 따라 나타나는 불가피한 토크맥동으로 전환구간에서만 나타난다. T_k 의 발생원인

은 전압원 인버터의 유한한 직류단 전압과 모터권선의 인덕턴스로 인해 전환이 순간적으로 일어나지 못하고 t_c 라는 유한한 전환시간을 필요로 하기 때문이다. 따라서 이상적인 경우, 전류제어를 통해 전류맥동이 생기지 않는다 하더라도 전환시간 t_c 에 의한 토크맥동은 전환구간에서 항상 존재하게 된다.

3. 전환시간 t_c 에 의한 토크맥동 T_k

본 절에서는 전환시간 t_c 에 의한 토크맥동 T_k 에 대한 해석을 통하여 T_k 에 영향을 미치는 요소를 분석하였다.

전환시간 t_c 에 의한 토크맥동은 식(10)과 같다.

$$T_k = \frac{6k_e I}{\pi} \left(\frac{\theta^2}{t_c} - \theta \right), \quad 0 \leq \theta \leq t_c \quad (10)$$

여기서 k_e 는 역기전력 상수(back EMF constant, [V/rad/sec])이다.

전환시간에 의한 토크맥동 T_k 는 회전자 위치 θ 에 대한 2차함수로 나타나며 T_k 의 변화량을 구하기 위해 식(10)을 θ 에 대해 미분하면 다음과 같다.

$$\frac{dT_k}{d\theta} = \frac{6k_e I}{\pi} \left(\frac{1}{t_c} 2\theta - 1 \right) = 0 \quad (11)$$

식(11)에서 $\theta = \frac{t_c}{2}$ 일 때 T_k 는 최대의 맥동을 가지며 그때의 $T_{k, Max}$ 는 식(12)과 같다.

$$T_{k, Max} = T_k \Big|_{\theta = \frac{t_c}{2}} = -\frac{3k_e I t_c}{2\pi} \quad (12)$$

식(12)의 결과를 이용하여 T_k 의 변화량을 표시하면 다음과 같다.

$$T_{k, pu} = \frac{T_{k, min}}{T_{base}} = \frac{3t_c}{4\pi} [p.u.] \quad (13)$$

여기서, T_{base} 는 2상도통시의 토크인 $T_{base} = \frac{2EI}{\omega_m}$ 이다. 식(12)에서 T_k 는 전류 I 와 전환시간 t_c 에 비례함을 알 수 있다. 식(13)에서 $T_{k, pu}$ 는 전환시간 t_c 에 비례함을 알 수 있다. 따라서 T_k 를 저감시키기 위해서는 이 두 가지 요소를 고려해야 한다. 우선 전류 I 를 줄이면 T_k 는 감소하지만 출력토크도 같이 감소하기 때문에 원하는 효과를 기대

할 수 없다. 그리고 전환시간 t_c 는 모터의 전기적 시정수 및 속도(역기전력)에 종속적이기 때문에 전환시간 t_c 자체를 줄이는 것은 어렵다. 그러나 다음절에서 제안할 전환시점 제어를 통해서 t_c 에 의한 영향을 상당히 저감시킬 수 있다.

4. 전환시간 t_c 에 의한 토크맥동 저감

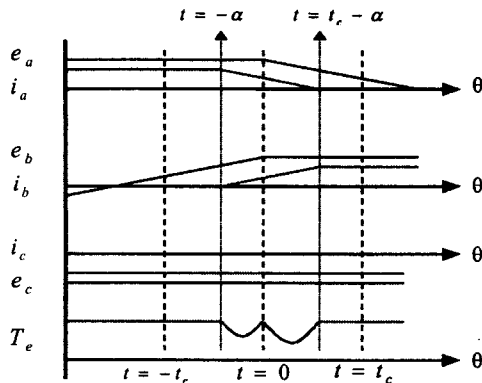


그림3. 전환시점과 토크맥동
Fig3. Commutation point and torque ripple

본 절에서는 전환시간 t_c 에 의한 토크맥동 T_k 를 저감시키기 위해 제안한 전환시점제어에 관하여 설명한다. 식(10)에서 알 수 있는 것처럼 전환시에 나타나는 토크맥동의 원인은 전류 I 의 맥동과 유한한 전환시간 t_c 으로 나눌 수 있다. 그러므로 전환시의 토크맥동을 저감시키기 위해서는 전류 I 를 일정하게 제어하고 전환시간 t_c 에 의한 영향을 감소시키는 두 가지 방법을 병행해야 한다. 전환시간 t_c 에 의한 토크맥동은 식(10)과 같고 T_k 는 θ 의 2차함수형태로 나타나며 전환구간의 시점과 종점에서의 값은 영이고 중간지점인 $\theta = t_c/2$ 인 최소값을 갖는다. 이차함수는 입력의 제곱에 비례하는 값을 출력하게 된다. 입력이 반으로 줄어들게 되면, 출력은 1/4로 줄어들게 된다. 전환시점(轉換始點)을 제어하면 T_k 가 그림3과 같이 역기전력이 평탄하게 되는 지점 ($t=0$)을 중심으로 나누어지는 효과를 얻을 수 있다. 전환시점을 α 라고 할 때 전환시점의 제어범위는 $-t_c \leq \alpha \leq 0$ 가 된다. 만약, $\alpha < -t_c$ 인 경우에는 감쇄상 전류가 미리 감소하기 때문에 출력토크가 그만큼 감소하게 되고 $\alpha > 0$ 인 경우에는 상승상 전류가 늦게 상승함으로 역시 출력토크의 감소를 초래하게 되어 두 경우 모두 토크맥동의 증가를 유발하게 된다.

전환시점을 $-\alpha$ 라고 할 때, 토크맥동 T_k 는 다음과 같이 $t=0$ 를 기준으로 두 영역으로 나누어 표현할 수 있다.

4.1 $-\alpha \leq \theta \leq 0$ 인 경우

$-\alpha \leq \theta \leq 0$ 에서의 각 상의 전류와 역기전력은 다음과 같다.

$$i_a = -\frac{I}{t_c}(\theta + \alpha) + I, i_b = \frac{I}{t_c}(\theta + \alpha), i_c = -I \quad (14)$$

$$e_a = E, e_b = \frac{6E}{\pi}\theta + E, e_c = -E \quad (15)$$

식(14), (15)를 이용하여 발생토크를 구하면 식(16)과 같이 표현되며,

$$\begin{aligned} T_e &= \frac{1}{\omega_m}(e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c) \\ &= \frac{2EI}{\omega_m} + \frac{6EI}{\omega_m \pi t_c}(\theta^2 + \alpha\theta) \end{aligned} \quad (16)$$

전환시간 t_c 에 의한 토크맥동과 T_k 의 변화량은 각각 식(17), 식(18)과 같다.

$$T_k = \frac{6k_a I}{\pi t_c}(\theta^2 + \alpha\theta) \quad (17)$$

$$T_{k1} = \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{\alpha^2}{t_c} \text{ [p.u]} \quad (18)$$

4.2 $0 \leq \theta \leq t_c - \alpha$ 인 경우

4.1절의 경우와 같이 토크를 구하기 위한 각 상의 전류와 역기전력은 아래와 같다.

$$i_a = -\frac{I}{t_c}(\theta + \alpha) + I, i_b = \frac{I}{t_c}(\theta + \alpha), i_c = -I \quad (19)$$

$$e_a = -\frac{6E}{\pi}\theta + E, e_b = E, e_c = -E \quad (20)$$

식(19), (20)를 이용하여 토크를 구하면 식(21)과 같고,

$$\begin{aligned} T_e &= \frac{1}{\omega_m}(e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c) \\ &= \frac{2EI}{\omega_m} + \frac{6EI}{\omega_m \pi t_c}(\theta^2 + (\alpha - t_c)\theta) \end{aligned} \quad (21)$$

전환시간 t_c 에 의한 토크맥동은 식(22)와 같으며,

$$T_k = \frac{6EI}{\omega_m \pi t_c}(\theta^2 + (\alpha - t_c)\theta) \quad (22)$$

T_k 의 변화량은 식(23)과 같다.

$$T_{k2} = \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{(\alpha - t_c)^2}{t_c} \text{ [p.u]} \quad (23)$$

식(20), 식(25)에서 알 수 있듯이 토크맥동은 $t=0$ 을 기준으로 두 부분으로 나누어지며 각각은 입력의 제곱에 비례함을 알 수 있다.

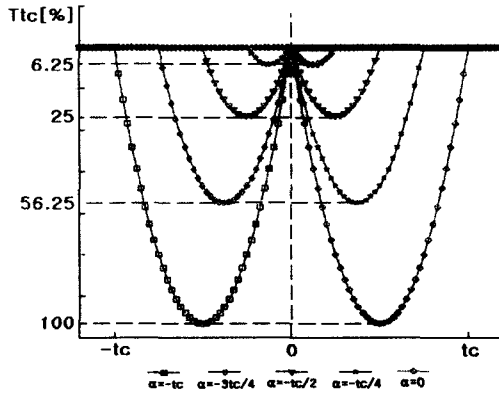


그림4. 전환시점과 토크맥동
Fig4. Commutation point and Torque ripple

표 1. 전환시점에 따른 토크맥동 비교(%)

Table 1. Comparison of torque pulsation with commutation point(%)

α	$-t_c$	$-3t_c/4$	$-t_c/2$	$-t_c/4$	0
T_{tc1}	100	56.25	25	6.25	0
T_{tc2}	0	6.25	25	56.25	100
최대값	100	56.25	25	56.25	100

그림 4는 몇 가지 전환시점 α 에 대한 토크맥동의 크기를 상대적으로 나타낸 것으로 $\alpha = -t_c$ 와 $\alpha = 0$ 일 때 토크맥동은 최대가 됨을 알 수 있고 이 때의 값을 기준으로 비교하면 $\alpha = -t_c/2$ 일 때의 토크맥동이 25%로 양분되어 최소로 됨을 알 수 있다.

표1은 그림4의 각 경우에 대해 최대치($\alpha = -t_c$ 와 $\alpha = 0$ 일 때)를 100으로 놓은 상대적인 크기를 수치적으로 정리한 것이다. 표1에서 $\alpha = -3t_c/4$ 인 경우에는 토크맥동이 각각 56.25[%]와 6.25[%]로 양분되어 입력의 제공에 비례하는 토크맥동이 나타남을 알 수 있으며 $\alpha = -t_c/2$ 인 경우가 토크맥동이 가장 작은 25[%]임을 알 수 있다.

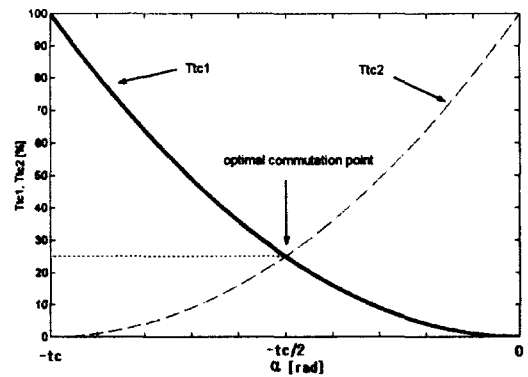


그림5. 토크맥동 비교
Fig5. Comparison of torque ripple

그림5는 전환시점 α 를 $-t_c$ 에서 0까지 변화시킬 때의 T_{tc1} 과 T_{tc2} 의 값을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 $\alpha = -t_c$ 와 $\alpha = 0$ 일 때 최대의 토크맥동이 발생되며 $\alpha = -t_c/2$ 일 때 토크맥동이 전체적으로 25[%]로서 최적의 전환시점임을 알 수 있다.

5. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 Maths Works의 Dynamic Simulation Tool 인 MatLab Simulink을 이용하였다.

그림 6은 Simulink로 구성된 시뮬레이션 블록을 나타내고 있다. 시뮬레이션 블록은 BLDCM를 모델링한 BLDCM 블록, 전동기 구동을 위한 3상인버터 블록, 그리고 속도 및 전류제어기로 구성되어 있으며 속도제어기와 전류제어기 사이에는 기준전류파형을 생성하는 블록이 추가되어 있다. 시뮬레이션에 이용된 전동기의 파라메타는 표 2와 같다. 3상 4극의 BLDCM이 이용되었다.

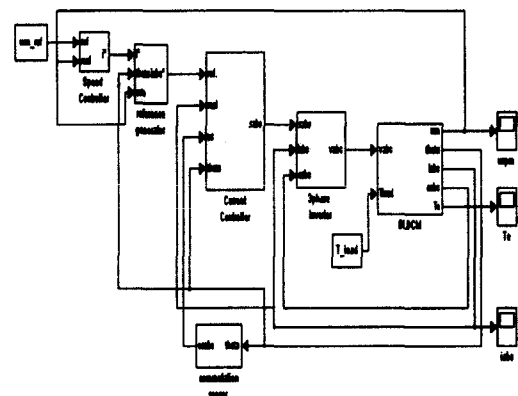


그림6. 시뮬레이션 블록
Fig6. Simulation block

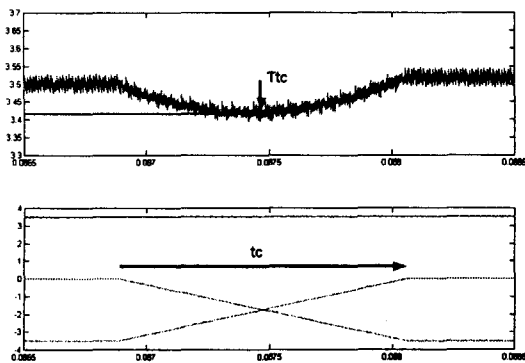
표 2. 모터 파라미터

Table 2. Motor parameter

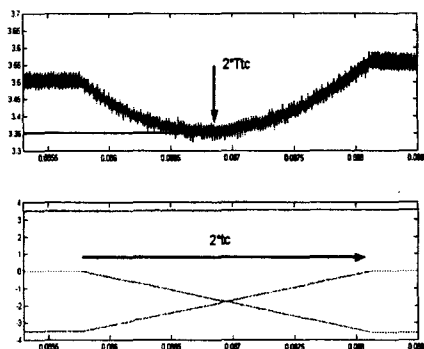
정격속도	3000 [rpm]
정격전류	3.5 [A]
상당저항	2.5 [Ω]
상당인덕턴스	11.2m [H]
역기전력상수	0.0385 [V/rpm]
토크상수	0.4998 [Nm/A]
회전자관성모멘트	0.0016 [Kgm ²]
극수	4

5.1 전환시간 t_c 와 토크맥동 T_{tc}

본 절에서는 토크맥동 T_{tc} 와 전환시간 t_c 와의 관계를 확인하였다. 동일한 조건에서 전환시간이 t_c 인 경우와 $2t_c$ 인 경우에 있어서의 토크맥동을 비교하였다.



(a) 전환시간이 t_c 인 경우
(a) Commutation time is t_c



(b) 전환시간 $2t_c$ 인 경우
(b) Commutation time is $2t_c$

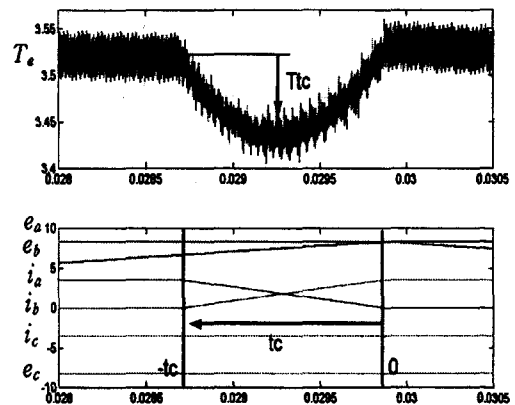
그림7. 전환시간과 토크맥동

Fig.7 Commutation time and torque ripple

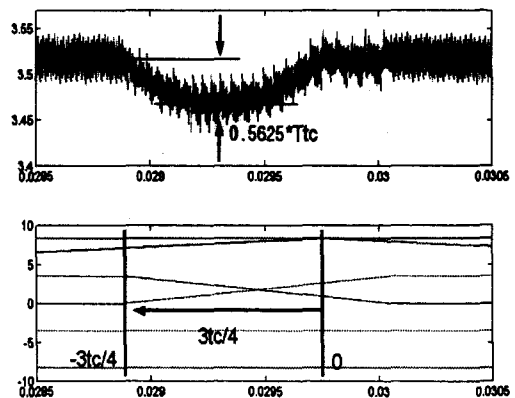
그림 7은 두 경우에 대한 시뮬레이션 파형을 나타내고 있으며 두 경우 모두 전류맥동은 존재하지 않으나 전환시간에 비례하는 토크맥동이 발생함을 알 수 있다. 이는 전류제어가 원활하게 수행되어 전류맥동이 존재하지 않는 경우에도 전환시간에 비례하는 토크맥동은 여전히 존재함을 나타내고 있는 것이다. 여기서 $t_c = 106.1641 \times 10^{-3}$ [rad]이다.

5.2 전환시점과 토크맥동

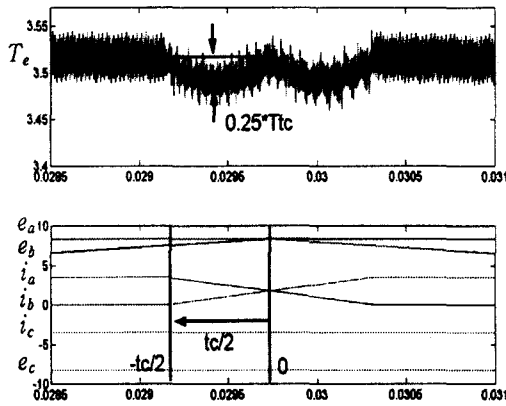
그림8은 본 논문에서 제안한 전환시점제어가 토크맥동 T_{tc} 의 저감에 미치는 영향을 나타내고 있다. 여기서 α 는 전환시점이다. (a)는 $\alpha = -t_c$ 인 경우로 최대의 토크맥동이 발생하며 이는 일반적인 경우 $\alpha = 0$ 와 동일하다. (b)는 $\alpha = -3t_c/4$ 인 경우로 토크맥동이 (a)의 토크맥동을 기준으로 각각 56.25%와 6.25%로 양분됨을 알 수 있다. (c) $\alpha = -t_c/2$ 인 경우로 토크맥동이 각각 25%로 동일하게 양분됨을 알 수 있다. 그림에서 (c)의 $\alpha = -t_c/2$ 인 경우가 최소의 토크가 발생하는 최적의 전환시점임을 확인할 수 있다.



(a) 전환시점이 $-t_c$ 인 경우
(a) When commutation point is $-t_c$.



(b) 전환시점이 $-3t_c/4$ 인 경우
(b) When commutation point is $-3t_c/4$



(c) 전환시점이 $-tc/2$ 인 경우
(c) When commutation point is $-tc/2$

그림8. 전환시점과 토크맥동

Fig8. Commutation starting point and torque ripple

6. 결 론

BLDCM의 토크는 전류와 역기전력의 함수이므로 맥동없는 토크를 얻기 위해서는 전류제어의 측면 뿐만 아니라 전류와 역기전력의 상호관계를 고려하여야 한다. 본 논문에서는 BLDCM의 단점인 전환구간에서 토크맥동이 발생하는 문제에 대하여 연구하였으며 전환구간에서의 감쇄상 역기전력을 고려한 토크모델을 이용하여 전환구간의 토크가 전류에 비례하는 부분과 전환시간에 비례하는 토크맥동으로 나눌 수 있음을 보였다. 전자는 모터를 회전시키는 실제적인 출력토크로 작용하는 성분으로 전류에 맥동이 있을 경우 토크맥동으로 나타날 수도 있고 후자는 맥동으로만 존재하는 성분으로 전류제어가 원활하게 수행된 경우에도 여전히 존재하게 된다. 따라서 전환시의 토크맥동의 원인은 전류의 맥동과 유사한 전환시간으로 나눌 수 있다. 지금까지 BLDCM의 토크맥동저감을 위한 연구는 주로 전류제어의 측면에서 이루어져 왔는데 본 논문에서는 전환시간에 의한 토크맥동을 저감시킬 수 있는 방식을 제안하였다. 전환에 의한 토크맥동은 2차함수 형태이고 전환시점을 제어할 때 역기전력의 평탄한 구간을 중심으로 토크맥동이 양분되는 현상에 착안하여 전환시점을 적절히 제어함으로써 전환에 의한 토크맥동을 상당히 저감할 수 있음을 보였으며 최적의 전환시점을 제안하였다.

감사의 글

이 논문은 2000학년도 건국대학교 학술연구비지원에 의한 논문임.

참 고 문 헌

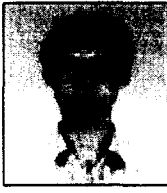
[1] H.Le-Huy et al., "Minimization of Torque Ripple in Brushless DC Motor Drives," IEEE Trans.IA., vol.IA-22, no.4, pp.748-755, 1986.
[2] Y.Murai et al., "Torque Ripple Improvement for Brushless DC Miniature Motors," IEEE Trans.IA., vol.25,no.3,

pp.441-450, 1989.
[3] R.Carlson et al., "Analysis of Torque Ripple Due to Phase Commutation in Brushless dc Machines," IEEE Trans. IA., vol.28, no.3, pp.632-638, 1992.
[4] C.Berendesen et al., "Commutation Strategies for Brushless DC Motor: Influence on Instant Torque," IEEE Trans. PE., vol.8, no.2,pp.231-236, 1993.
[5] 이광운 외, "브러시리스 직류전동기의 전환에 의한 전류 맥동저감에 관한 연구", 전기학회논문집, vol.48B, no.9, pp.490-496, 1999.

저 자 소 개



김철주 (金哲株)
1972년 2월 13일 생. 1995년 건국대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년~현재 삼성전자 주임연구원
Tel : 02-450-3486
E-mail : chjkim@orgio.net



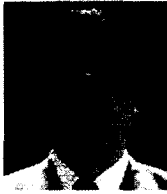
강병희 (姜秉熹)
1966년 9월 19일 생. 1993년 건국대학교 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년~1998년 삼성종합기술원 정밀기계 Lab. 전문연구원. 1999년~현재 동 대학원 박사과정

Tel : 02-450-3486
E-mail : soju2me@konkuk.ac.kr



목형수 (睦亨洙)
1963년 10월 31일 생. 1986년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 졸업(석사). 1992년 동 대학원 졸업(공박). 1992년~1996년 서울산업대 공대 제어계측공학과 조교수. 1997년~현재 건국대 공대 전기공학과 교수

Tel : 02-450-3479
E-Mail : hsmok@konkuk.ac.kr



최규하 (崔圭夏)
1978년 서울대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 졸업(석사). 1986년 동 대학원 졸업(공박). 1987년~1988년 미국 오레곤주립대 Post-Doc. 1988년~1999년 미국 버지니아주립대 교환방문교수. 1997년~1998년 건국대 연구처장. 현재 건국대 전기공학과 교수 및 전력전자기술연구소장. 당 학회 산학협동이사

Tel : 02-450-3496
E-Mail : ghchoe@konkuk.ac.kr