

왜곡된 역기전력을 갖는 매입형 영구자석 동기 전동기의 MRAS관측기를 이용한 토크리플 저감

진용신*, 조관열*, 김학원*, 임병국*, 한병문**
한국교통대학교*, 명지대학교**

Torque ripple reduction based on MRAS observer for the interior PMSM with back emf harmonics

Yong Sin Jin*, Kwan Yuhl Cho*, Hag Wone Kim*, Byung Kuk Lim*, Byung Moon Han**
Korea National University of Transportation*, Myongji University**

ABSTRACT

본 논문에서는 왜곡된 역기전력을 갖는 매입형 영구자석 동기전동기의 토크리플 저감 방법을 제안한다. 역기전력에 왜곡 성분이 있는 경우 정현파 전류로 모터 제어 시 역기전력의 왜곡으로 인한 토크리플은 전동기의 진동 증대 및 효율 저하의 요인이 된다. 이러한 토크리플에 의한 전동기의 진동은 특히 저속에서 문제가 된다. 저속운전 시 전동기의 토크리플을 저감하기 위해서는 역기전력의 왜곡에 의한 토크리플을 줄일 수 있는 토크리플 보상 전류제어가 필요하다. 이 경우 토크리플 보상 전류를 구하기 위해서는 역기전력의 왜곡성분에 대한 정보가 필요하다. 본 논문에서는 역기전력의 왜곡성분을 off_line 방식이 아닌 전류기반 MRAS 관측기를 사용하여 실시간으로 추정하여 토크리플 저감전류를 보상함으로써 토크리플을 저감한다. 제안된 토크리플 저감 알고리즘은 시뮬레이션을 통해 검증한다.

1. 서론

최근 고효율 모터의 수요가 증가되면서 모터를 최적화시켜 제어 할 수 있는 알고리즘에 대한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 매입형 동기 전동기의 역기전력에 고조파가 포함된 경우 발생하는 토크리플 저감에 대한 방법을 제안한다. IPMSM(Interior PM synchronous motor)의 경우 MTPA(Maximum torque per ampere)운전을 통해 킬러턴스 토크를 이용하여 단위체적 당 출력을 증가 시킬 수 있다. 비정현적인 IPMSM의 토크리플 저감을 위해서 역기전력의 하모닉 성분을 분석하고 왜곡 성분을 전류지령에 추가하여 전류제어를 하므로써, 토크리플을 저감하는 방법을 사용하고 있다.^[1,2] 이 방법은 모터가 바뀌게 되면 다시 하모닉 성분을 분석해야 하는 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 전류기반 MRAS관측기를 사용하여 실시간으로 왜곡 성분을 추종하고 토크리플 저감전류를 보상함으로써 토크리플을 저감 하는 방법을 제안한다.

2. 본론

2.1 하모닉을 포함한 IPMSM 모델링

영구 자석 동기전동기의 전압 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_d = r_s i_d + L_d \frac{di_d}{dt} - \omega_r L_q i_q \quad (1)$$

$$V_q = r_s i_q + L_d \frac{di_q}{dt} + \omega_r L_d i_d + \omega_r \lambda_f$$

식(1)에서 역기전력에 하모닉 성분이 포함된 경우에는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_d = r_s i_d + L_d \frac{di_d}{dt} - \omega_r L_q i_q - \omega_r \lambda_{df} \quad (2)$$

$$V_q = r_s i_q + L_d \frac{di_q}{dt} + \omega_r L_d i_d + \omega_r \lambda_{df}$$

여기서 $\lambda_{df}, \lambda_{qf}$: dq축 영구자석에 의한 고조파를 포함한 쇄교자속이다.

또한 전동기의 토크 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \{ \lambda_{df} i_q - \lambda_{qf} i_d + (L_d - L_q) i_d i_q \} \quad (3)$$

그림1 (a)는 실제 역기전력을 나타내며 그림1 (b)는 FFT 분석 결과이다. 그림1 (b)에 결과를 보면 고조파성분이 13차 이하에서 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 13차 까지의 고조파 성분만 고려하여 모델링 하였다.

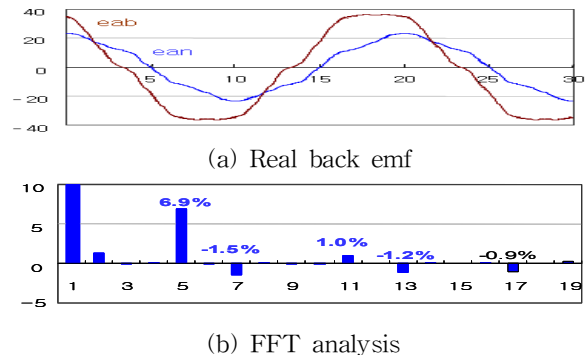


fig 1 Back emf and FFT analysis

2.2 전류 기반 MRAS 관측기를 이용한 dq축 쇄교 자속 하모닉 추종 방법

위의 식(2)과 식(1)을 전류에 대한 식으로 변경하여 식(2)에 대한 식을 plant, 식(1)에 대한 식을 model이라고 놓고 parameter

가 동일하다고 가정하여 두 식의 차를 이산화 시켜 나타내면 다음과 같다.

$$L_d \frac{(i_d(k) - i_{dm}(k))}{\omega_r T_s} = \lambda_{df}(k) \quad (4)$$

$$-L_q \frac{(i_q(k) - i_{qm}(k))}{\omega_r T_s} = \lambda_{df}(k) - \lambda_f(k)$$

식(1)에서 model 전류에 대한 식으로 이산화 시켜 $i_{dm}(k)$ 와 $i_{qm}(k)$ 을 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$i_{dm}(k) = \frac{T_s}{L_d} (-r_s i_d(k-1) + \omega_r L_q i_q(k-1) + V_d^*(k-1)) + i_d(k-1)$$

$$i_{qm}(k) = \frac{T_s}{L_q} (-r_s i_q(k-1) - \omega_r (L_d i_d(k-1) + \lambda_f(k-1)) + V_q^*(k-1)) + i_q(k-1) \quad (5)$$

식(5)에서 구한 모델전류를 식(4)에 대입하면 영구자석의 dq축 쇄교자속의 하모닉 성분만 추종해 낼 수 있다. 그림 2는 MRAS관측기를 통해 관측된 dq축 쇄교 자속 및 실제 쇄교 자속의 하모닉 성분을 나타낸다. 실제 쇄교 자속의 하모닉 성분을 관측기가 잘 추종함을 알 수 있다.

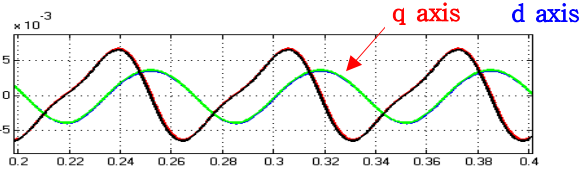


fig 2 magnetic flux interlinkage harmonic of dq axis real and observer

2.3. 토크리플 저감 방법

식(3)에서 magnetic토크성분은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{magf} + T_{magh} = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \{ \lambda_f i_q + \lambda_{df} i_q + \lambda_{dfh} (i_q + i_{qh}) \} \quad (6)$$

식(8)에서 T_{magh} 를 0으로 만들도록 q축 보상 전류를 구하게 되면 다음과 같다.

$$i_{qh} = - \frac{\lambda_{dfh} i_q}{\lambda_f} \quad (7)$$

식(3)에서 reluctance토크성분은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{rtf} + T_{rth} = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \{ (L_d - L_q) i_q^2 - \lambda_{qfh} (i_d + i_{dh}) + (L_d - L_q) i_q^2 i_{dh} \} \quad (8)$$

식(9)에서 T_{rth} 를 0으로 만들도록 d축 보상 전류를 구하게 되면 다음과 같다.

$$i_{dh} = \frac{\lambda_{qfh} i_q - (L_d - L_q) i_q^2}{(L_d - L_q) i_q} \quad (9)$$

2.4. 모의 해석

Table 1 parameter of IPMSM

| | |
|--------|--------------------------|
| 고정자 저항 | 0.64[Ω] |
| 고정자 Ld | 6.6[mH] |
| 고정자 Lq | 11.8[mH] |
| 관성 모멘트 | 0.007[Kgm ²] |
| 극수 | 6 |

모터의 사양은 표1과 같고 PWM 주파수는 10Khz이다. 그림 3은 제안된 방법의 모의 실험 결과를 나타낸다. 보상 알고리즘은 1초부터 적용하였다. 보상 결과 보상 전에 비해 토크리플이 상당히 저감됨을 알 수 있다.

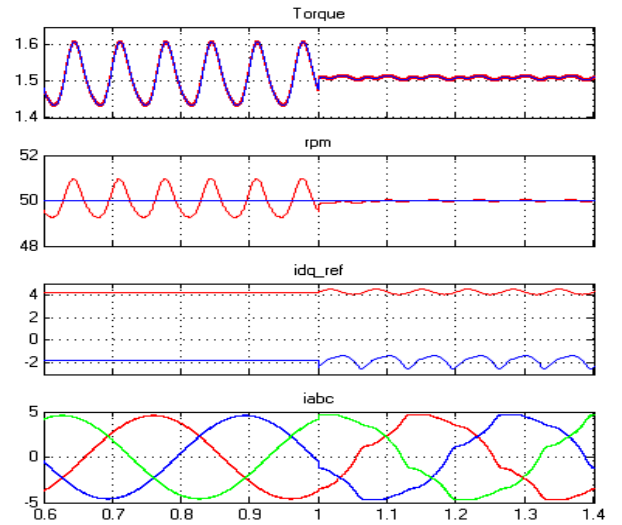


fig 3 simulation of the proposed method

3. 결론

본 논문에서는 저속운전 시 전동기의 토크리플을 저감하기 위해서는 역기전력의 왜곡성분을 off_line 방식이 아닌 전류기반 MRAS 관측기를 사용하여 실시간으로 추정하여 토크리플 저감전류를 보상함으로써 토크리플이 저감됨을 모의 해석을 통해 검증하였다. 향후 과제로 실험을 통해 제안된 방법을 검증하겠다.

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술 평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제임. (No. 2011H100100110)

참고 문헌

- [1] S. H. Lee, I. P. Hong, S. J. Park, and C. U. Kim, "Torque Ripple Minimization for IPMSM with Non Sinusoidal Back EMF," *Transaction of the korean institute of Power Electronics*, Vol. 7, No.1, pp. 91-100, Feb. 2002.
- [2] K. Y. Cho, B. G. Woo, G. M. Kim, C. H. Kang, H. K. Shin, "Analysis of Flux Weakening Operation Regions for a PM Synchronous Motor in HEV by considering Back EMF Harmonics," *Transaction of the korean institute of Power Electronics*, Vol. 16, No.2, pp. 152-161, April. 2011.