

유도모터 누설계수 오차에 의한 약계자 성능저하 분석

김윤재, 김남수
삼성전자

Analysis of Field Weakening Performance Degradation due to Leakage Coefficient Error of Induction Motor

Yoonjae Kim, Namsu Kim
Samsung Electronics

ABSTRACT

유도모터의 벡터제어를 위해서는 회전자 자속에 대한 정확한 추정이 필요하다. 일반적으로 전압모델을 이용한 자속 추정기 구성하면 고속 구간에서 파라미터 오차에 대해 강인한 특성을 갖는다고 알려져 있다. 그러나 약계자 운전에서 부하가 증가할 경우 자속 추정에서 누설 자속에 의한 영향력이 커지게 되며, 심한 경우 누설 계수 오차로 인한 약계자 운전 불능을 야기시킨다. 따라서 본 논문은 유도모터의 누설계수 오차에 의한 벡터제어 성능 영향을 약계자 영역에 집중해서 분석하였다.

1. 서론

전기자동차, 블로워 등 고속 유도 모터에 대한 요구가 증가함에 따라 약계자 운전의 중요성이 커지고 있다. 유도모터 벡터 제어의 약계자 성능을 향상 시키기 위해서는 정확한 자속의 추정이 필요하다. 일반적으로 유도기전력이 작은 저속에서는 전류모델을 통해 자속을 추정한다. 반면에 정격 이상의 고속에서는 파라미터에 대한 의존성이 낮다고 알려진 전압모델을 사용한다.^[1]

그러나 약계자 운전으로 회전자 및 고정자의 자속이 작아지면서, 누설자속 추정 오차가 벡터 제어 성능에 미치는 영향이 상대적으로 커지게 된다. 특히 누설 자속 계수는 약계자 제어에 의해 코어의 포화가 해제되면서 점점 값이 증가하고 이러한 파라미터 변동이 제어 불안정을 야기시킬 수 있다.^[2] 따라서 본 논문에서는 누설자속계수의 오차에 집중하여 벡터제어에 미치는 영향을 분석한다.

2. 누설 자속 오차의 벡터 제어 영향 분석

2.1 자속 추정

고정자 자속은 아래와 같이 고정자 전압을 기반으로 추정이 가능하다.

$$\lambda_{ds}^s = \int v_{ds}^s - r_s i_{ds}^s dt \quad (1)$$

$$\lambda_{qs}^s = \int v_{qs}^s - r_s i_{qs}^s dt \quad (2)$$

고정자 저항은 열에 의해 큰 폭으로 변한다. 그러나 정격 이상의 속도에서 저항에 인가되는 전압의 크기는 유도기전력에 비해 무시할 수 있을 만큼 작기 때문에 파라미터에 대한 의존도가 낮다. 회전자 자속은 아래와 같이 고정자 자속, 전류 및 인덕턴스에 대한 식으로 구할 수 있다.

$$\lambda_{dr}^s = \frac{L_r}{L_m} (\lambda_{ds}^s - \sigma L_s i_{ds}^s) \quad (3)$$

$$\lambda_{qr}^s = \frac{L_r}{L_m} (\lambda_{qs}^s - \sigma L_s i_{qs}^s) \quad (4)$$

2.2 전류 및 자속 벡터

정지좌표계에서 회전자, 고정자 자속 벡터 및 전류 벡터는 아래와 같이 정의하였다.

$$\Lambda_s^s = \lambda_{ds}^s + j\lambda_{qs}^s \quad (5)$$

$$\Lambda_r^s = \lambda_{dr}^s + j\lambda_{qr}^s \quad (6)$$

$$i_s^s = i_{ds}^s + j i_{qs}^s \quad (7)$$

Table. 1 Induction motor parameters

L_s	L_r	σ	r_s	r_r
51 mH	50 mH	0.087	0.2 Ω	0.1 Ω

표 1에 분석 및 시뮬레이션에 사용된 파라미터를 정리하였다. 본 논문에서는 포화에 의한 인덕턴스 감소 및 누설 자속 계수 σ 의 증가는 무시하였다.

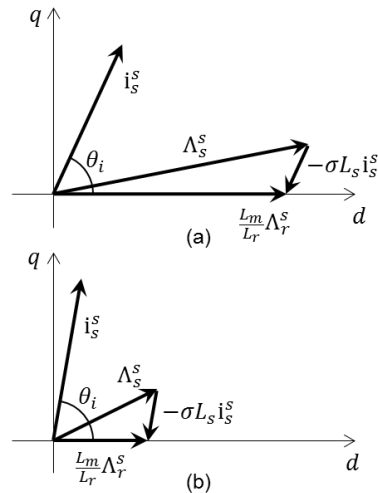


Fig. 1 Vector diagrams of stator and rotor flux in the stationary frame when $|i_s^s| = 35$ A and $\sigma = 0.087$. (a) $\theta_i = 65^\circ$, (b) $\theta_i = 80^\circ$.

그림 1의 (a)는 정격 운전시 벡터 다이어그램으로 회전자 및 고정자 자속에 비해 누설 자속 벡터 $\sigma L_s i_s^s$ 의 크기가 작다. 반면에 그림 1의 (b)는 2배속 운전의 벡터 다이어그램으로 약계자 제어에 의해 고정자 및 회전자의 자속이 감소하여, 누설 자속의

영향이 상대적으로 크게 작용한다.

그림 1은 정지좌표계에서 그려졌지만 회전자 자속이 d축에 놓여있기 때문에 동기좌표계에서 해석이 가능하다. $\sigma L_s i_s^e$ 에서 d축 전류는 회전자 자속 추정치의 크기에만 영향을 미치지만, q축 전류는 위상 오차를 야기 시킨다. 따라서 전류 위상각이 증가하는 약계자 운전의 고부하 운전에서는 누설 자속 추정의 오차가 더 큰 영향을 미칠 것으로 예상할 수 있다.

표 2는 서로 다른 전류각에서 동일한 누설 자속 추정 오차가 자속 추정에 미치는 영향을 나타낸 것이다. $\hat{\sigma}$ 는 추정기에 사용되는 에러를 포함한 누설 자속 계수이다. $\Delta\theta_e$ 동기각 오차이며 약계자 운전을 나타내는 80° 에서 정격 대비 2배 이상의 큰 각도 오차가 발생함을 확인하였다.

Table. 2 Comparison of rotor flux estimation error caused by leakage factor error.

θ_i	65°		80°	
$\hat{\sigma}/\sigma$	0.9	1.1	0.9	1.1
$\Delta\theta_e$	-1.2°	1.2°	-3.4°	2.9°

2.3 시뮬레이션 결과

σ 의 약계자 운전 영향을 확인하기 위하여 2배속 운전 중 자속 추정기의 σ 에 $\pm 10\%$ 의 오차를 강제로 인가하는 시뮬레이션을 진행하였다. 전류제어의 전압 마진은 10%를 가정하였다.

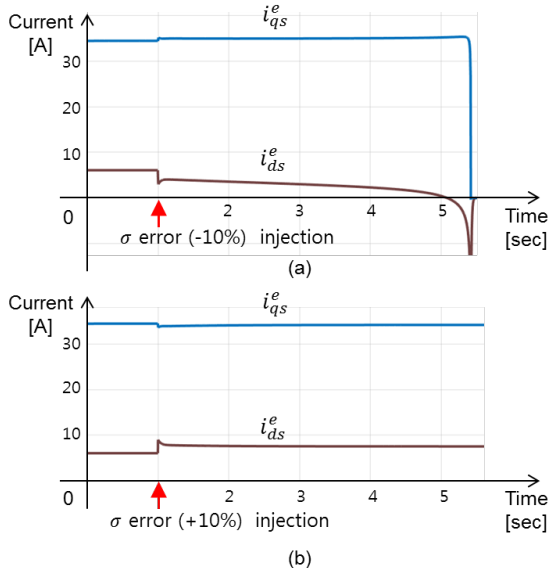


Fig. 2 Current control simulation with leakage factor error injection. (a) $\theta_i = 80^\circ$, $\hat{\sigma}/\sigma = 0.9$, (b) $\theta_i = 80^\circ$, $\hat{\sigma}/\sigma = 1.1$.

그림 2의 (a)는 -10% 의 오차를 인가한 결과이다. 표 2에서 확인한 것과 같이 음의 동기각 오차가 발생하여 d상 전류가 0이하로 감소하면서 제어가 깨지는 결과가 발생하였다. 그림 2의 (b)는 $+10\%$ 의 오차를 인가한 결과로, 실제 d축 전류의 증가로 인해 약계자

제어가 정확히 되지 않는다는 단점은 있었지만, 전압 마진이 있을 경우 상대적으로 더 안정적인 제어 결과를 보였다.

3. 결론

전압모델 기반 자속 추정기는 파라미터 오차에 강인한 것으로 알려져 있으나, 약계자 운전시 누설 자속 추정에 오차가 있을 경우 동기각 추정에 큰 오차가 발생하는 것을 확인하였다. 특히 누설 자속 계수가 과소 측정 되었을 때 고속 영역에서 제어의 안정성에 미치는 악영향이 더 크다는 점을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] J. Kim, J. Choi, and S. Sul "Novel rotor flux observer using observer characteristic function in complex vector space for field oriented induction motor drives", *IEEE Trans. on Ind. Appl.* vol. 38, No. 5, pp. 1334-1343, 2002.
- [2] D. Chatterjee, "A simple leakage inductance identification technique for three-phase induction machines under variable flux condition", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 59, no. 11, pp. 4041-4048, Nov. 2012.