

매입형 영구자석 동기전동기의 온라인 상수 보정

권영수*, 박경훈**, 한경식**

LS산전 자동화연구소

Online Parameter Compensation of Interior Permanent Magnet Motor

Young-su Kwon*, Kyeong-Hun Park**, Kyung-sik Han**

LS Industrial Systems Automation R&D Center

Abstract

이 논문에서는 부하전류의 크기에 따라 시시각각 변하는 매입형 영구자석 동기전동기의 d, q 축 인덕턴스를 실시간으로 추정해 제어에 반영시킬 수 있는 방법을 제안했다. 정지상태에서 초기 기동에 필요한 인덕턴스 값을 추정해도 운전시 부하전류의 크기에 따라 인덕턴스가 변하기 때문에 모든 영역에서 같은 인덕턴스 값을 적용하면 성능을 제대로 내기 어렵다. 이 논문에서는 인덕턴스 오차에 따라 발생하는 지령전압과 계산전압의 차이를 이용해 이를 실시간으로 보정함으로써 부하 성능을 개선할 수 있다는 사실을 확인했다.

1. 서론

지금 산업분야에서는 에너지 효율을 개선하기 위한 방법으로 유도전동기 대신 영구자석 동기전동기를 많이 사용하는 추세다. 따라서 학계에서도 관련된 연구가 활발히 이루어지고 있다. 영구자석 동기전동기 가운데서 특히 에너지 효율이 높고 대용량 타입에 적합한 매입형 영구자석 동기전동기가 많이 사용된다. 매입형 영구자석의 경우 d, q 축 인덕턴스가 차이에 따라 발생하는 토크턴스 토크를 적절히 제어해야만 그 성능을 높일 수 있다. 그러나 인덕턴스의 경우 고정된 상수가 아닌 전류의 함수라고 할 수 있으므로 부하전류에 따라 변하는 인덕턴스 값을 실시간으로 적용하지 못하면 빠른 동특성을 얻을 수 없다.[1]

2. 매입형 영구자석 동기전동기 모델링

2.1 등가회로와 전압방정식

그림 1은 매입형 영구자석 동기전동기의 정지좌표계 d, q 축 등가회로를 나타낸다. 이 등가회로를 이용하여 동기좌표계의 d, q 축 전압방정식을 표현하면 식(1), 식(2)와 같다.[1][2]

$$v_{de}^r = R_s i_{de}^r + \hat{L}_d \frac{di_{de}^r}{dt} - \hat{\omega}_r \hat{L}_q i_{qe}^r \quad (1)$$

$$v_{qe}^r = R_s i_{qe}^r + \hat{L}_q \frac{di_{qe}^r}{dt} + \hat{\omega}_r \hat{L}_d i_{de}^r + \hat{\omega}_r \lambda_f \quad (2)$$

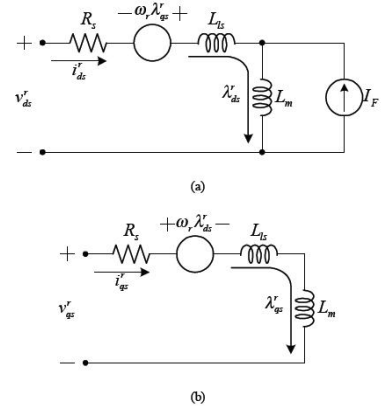


그림. 1 매입형 영구자석 동기전동기의 d, q축 등가회로

2.2 전류와 주파수 변화에 따른 Ld, Lq의 변화

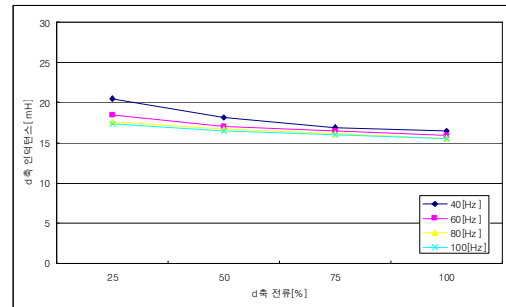


그림. 2-1 전류크기와 주파수 변화에 따른 Ld의 변화

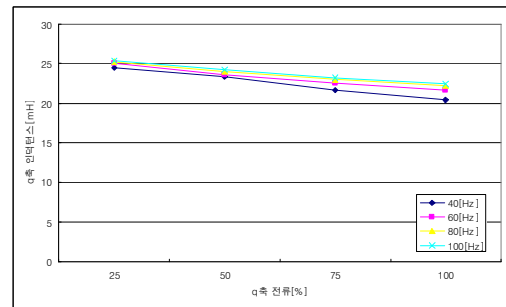


그림. 2-2 전류크기와 주파수 변화에 따른 Lq의 변화

그림 2는 전류크기와 주파수에 따른 L_d, L_q 의 변화를 나타낸다. 전류가 작을 때와 클 때 최대 30%이상의 변화를 보이고 있다. 주파수에 따른 변화추이를 보았을 때 주파수가 낮을 때 전류크기에 따른 인덕턴스의 차이는 더 커질 것이다. 따라서 이런 인덕턴스 변화를 고려하지 않으면 원활한 제어를 하기가 어렵다.

3. 온라인 인덕턴스 보정 알고리즘

3.1 블록 다이어그램

그림 3은 온라인 상수보정 알고리즘의 블록으로 표시한 것이다. 인덕턴스 추정기(Inductance Estimator)에서 전압의 오차를 이용하여 실제 L_d, L_q 를 추정하고 이 값은 실시간으로 MTPA(Maximum Torque Per Ampere) 제어기에 입력되어 최대토크를 낼 수 있는 d, q축 전류지령을 출력한다.

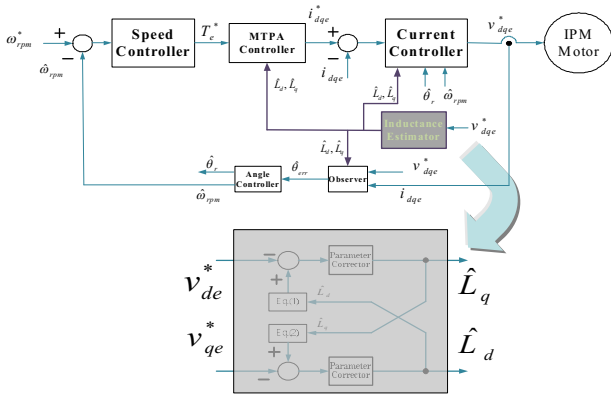


그림. 3 매입형 영구자석 동기전동기 온라인 상수 보정 블록 다이어그램

3.2 인덕턴스 보정 알고리즘

만약 L_d, L_q 에 오차가 있다면 정격 토크를 내기 위해서는 정격전류 이상의 전류가 필요하게 된다. 속도제어기로부터 출력되는 토크지령은 정격토크보다 더 큰 값이 될 것이며 d, q축 전류지령 또한 정격전류보다 커질 것이다. 그러므로 전류제어기 출력전압은 식(1)과 식(2)에서 계산한 전압과 차이가 나며 이는 인덕턴스 오차에 기인한 것이라고 할 수 있다. 이 전압의 오차는 식(1)과 식(2)의 3번째 항에 의해 가장 큰 영향을 받으며 d축 전압오차는 L_q 에 따라 발생하고 q축 전압오차는 L_d 에 따라 발생한다. 따라서 이 전압의 오차를 0으로 만들도록 인덕턴스 값을 보정해 준다면 결국 전압의 오차가 0이 되는 때의 인덕턴스 값이 실제 인덕턴스 값이 된다. 이 값을 전류제어기 이득과 MTPA 제어기, 속도 추정기에 적용하여 최적의 제어를 수행 할 수 있다.

4. 시뮬레이션 결과

제안한 알고리즘을 검증하기 위해 368V, 3.7kW 매입형 영구자석 동기전동기의 데이터를 사용하여 MATLAB Simulink로 시뮬레이션을 수행하였다. 사용한 전동기의 규격은 표 1과 같고 시뮬레이션 결과는 그림4와 같다.

30%의 오차를 가진 인덕턴스 값을 사용하여 운전을 시작한 후 0.4초에 200%의 계단부하를 인가하였다. 그리고 0.5초에 인덕턴스 보정 알고리즘을 이용하여 실제 인덕턴스를 추정하였다. 인덕턴스 오차가 있을 때는 속도와 토크 맥동이 발생하여 제어가 불안정 하지만 실제 인덕턴스를 추정하여 보정한 후에는 안정적인 제어를 수행하는 것을 볼 수 있다.

표. 1 368V 3.7kW IPM 전동기 규격

Power [kW]	3.7
VLL [V]	368
Rs [Ω]	1.054
Ld [mH]	14.37
Lq [mH]	38.28

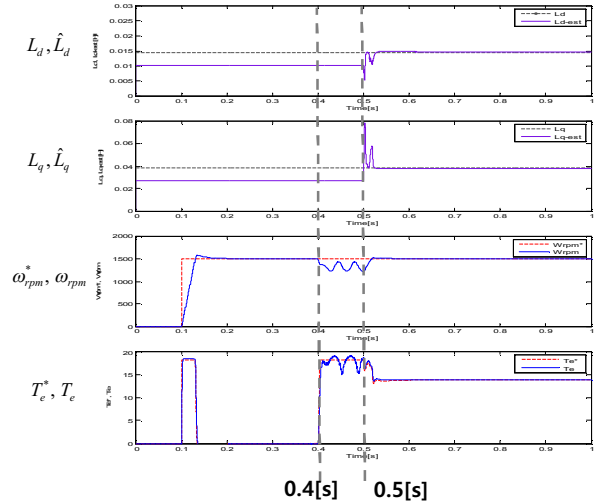


그림. 4 온라인 인덕턴스 보정 시뮬레이션 결과

5. 결론

이 논문에서는 매입형 영구자석 동기전동기의 d, q축 인덕턴스를 운전 중에 실시간으로 보정하여 제어성을 높여줄 수 있는 온라인 인덕턴스 보정 알고리즘을 제안하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 향후 실험을 통해서도 제안한 방법의 타당성을 검증하고 실제 제품에도 적용시킨다면 매입형 영구자석 동기전동기의 제어성능 향상에 기여할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] 설승기, "전기기기 제어론", 브레인 코리아, 2002
- [2] 장지훈, "고주파 주입 방법에 의한 표면부착형 영구자석 동기전동기의 위치센서 없는 벡터 제어, 서울대학교 석사학위 논문, 2001