

단상 LSPM 동기 전동기의 설계 변수 변화에 따른 특성 해석

홍숙현, 고권민, 박찬배, 최재영
삼성 전자 DA 연구소

The Characteristics Analysis of Single Phase LSPM Synchronous Motor by changing Design Parameter

Sook Hyun Hong, Kwon Min ko, Chan Bae Park, Jae Young Choi
Power Electronics & Control Group, DA R&D Center Samsung Electronics

Abstract - The efficiency of electric machine is important due to increase of interest about energy saving. Single Phase Line Start Permanent Magnet Synchronous Motor has high efficiency and power factor. LSPMSM offer a high efficiency as compared induction motor which are used in the home appliance. The analysis and design of LSPMSM is difficult because of unbalanced rotating magnetic field, nonlinear characteristics and rotor saliency. To consider these effects, F.E.M(Finite Element Methods) is coupled equivalent circuit methods. In this paper, a methods of analysis and design using F.E.M and equivalent circuit is represented.

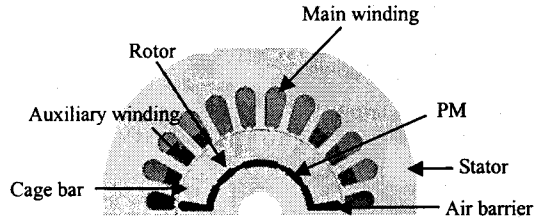


그림 1 단상 LSPM 초기 형상

1. 서 론

가전기에 많이 이용되는 유도 전동기의 효율을 보다 높일 수 있는 대체 전동기로 단상 LSPM 동기 전동기가 있다. 영구 자석을 이용함으로써 기존의 유도 전동기 보다 높은 효율을 얻을 수 있으며, 운전을 위한 별도의 부가 장치가 필요 없으므로 BLDC 전동기 보다 가격적인 이점이 있다. 그러나 단상 LSPM 동기전동기는 회전자에 삽입된 영구 자석으로 인해 기동 특성 저하 등이 발생하여 설계에 어려움이 존재한다. 또한 단상 LSPM 동기 전동기는 고정자 권선에 의한 불평형 자계 형성, 회전자에 삽입된 영구 자석으로 인한 형상의 비대칭과 포화 등의 비선형적인 특성이 발생됨으로써 기존의 등가 회로법만을 이용한 설계 방법은 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 이러한 특성을 고려한 설계 및 해석을 수행하기 위하여 유한 요소 해석을 통한 회로 정수 추출을 한다. 또한 성능 개선을 위하여 각각의 설계 변수 변화에 따른 특성을 파악한다.

2. 본 론

2.1 해석 모델

해석 모델은 170[W]급 단상 LSPM 동기 전동기이다. 그림 1은 초기 해석 모델의 단면이다. 회전자 내부에 선형적인 감자 특성을 갖는 회로유계 영구 자석이 방사 방향으로 삽입되어 있다. 그림 2는 단상 LSPM 동기 전동기의 권선 연결도이다. 표 1은 전동기 사양을 나타낸다.

표 1 단상 LSPM 동기 전동기 사양

정격 토크 [N.m]	0.4
회전자 직경 [mm]	60.4
공극 길이 [mm]	0.3
Br [T]	1.17

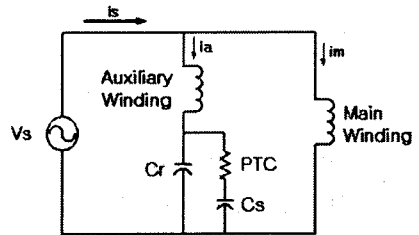


그림 2 권선 연결도

2.2 설계 과정

그림 3은 단상 LSPM 동기 전동기의 전체적인 설계 과정이다. 먼저 각 출력에 맞는 고정자 주권선의 직렬 턴 수를 결정한다. 회전자 설계는 영구 자석과 회전자 바 설계로 이루어진다. 영구 자석은 전동기 특성을 결정하는 설계 변수이다. 그러나 영구 자석 전동기의 가격 상승의 원인이 되므로 가능한 자석 사용량을 줄이고 공극 자속 밀도는 높은 방향으로 설계하여야 한다. 먼저 감자 되지 않는 자석의 두께를 결정한다. 원하는 공극 자속 밀도에 따라서 자석의 크기를 결정한다. 자석의 형태에 따라 결정되는 인덕턴스 값 또한 고려되어야 한다. 기동 특성과 공극 자속 밀도 분포를 고려한 도체 바 설계가 필요하다. 다음은 보조 권선의 직렬 턴 수를 결정한다. 주권선과 보조 권선의 권선비는 불평형 자계의 영향을 최소화, 즉 역방향 회전 자계의 영향을 최소화 하기 위한 조건에 맞게 설계한다. 기동 커패시터는 가능한 큰 기동 토크를 발생시키는 값으로 결정하며, 운전 커패시터는 정속 운전시 역률과 효율을 개선시키는 값으로 결정한다.

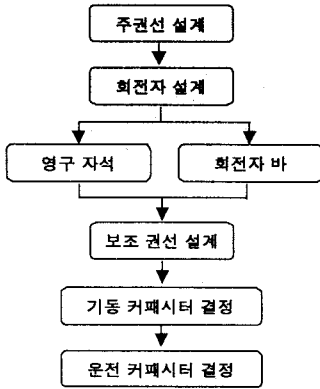


그림 3 설계 과정

2.2.1 단상 LSPM 회전자 설계

회전자 설계는 회전자 바와 영구 자석으로 나눌 수 있다. 단상 LSPM 동기 전동기는 별도의 구동 장치 없이 회전자에 삽입된 도체 바에 의한 자기 유도 현상에 의하여 자기 기동이 가능하다. 그러나 기동 시 영구 자석의 자속에 의한 역기전력에 의한 자석 토크가 기동과 가속을 방해하는 역할을 한다. 따라서 자석에 의한 방해 토크를 고려한 기동력을 낼 수 있는 도체 바 설계가 이루어져야 한다. 도체 바 설계가 제대로 되지 않으면, 기동과 동기화가 이루어지지 않는다[1],[2].

영구 자석은 기동 시에는 기동과 가속을 방해하는 역할을 하나, 동기화 진입 후에는 전동기 효율과 성능을 결정짓는 중요한 설계 변수이다. 그러므로 기동 및 가속 특성과 효율을 만족시킬 수 있는 영구 자석과 도체 바 설계가 필요하다. 또한 영구 자석은 가격 상승의 요인이 되므로 가능한 적은 양을 사용하여 높은 공극 자속 밀도를 나타내야 한다. 또한 효율과 특성 개선을 위해 공극 자속 밀도는 가능한 정현적인 분포를 가져야 한다.

본 논문에서는 효율 및 특성을 개선시키기 위해 공극 자속 밀도 분포 변화에 따른 특성을 확인하기 위하여 그림 1에 나타난 기존의 설계된 영구 자석 형상을 그림 4와 5에 나타난 것처럼 영구 자석 크기와 barrier부분을 변경하였다.

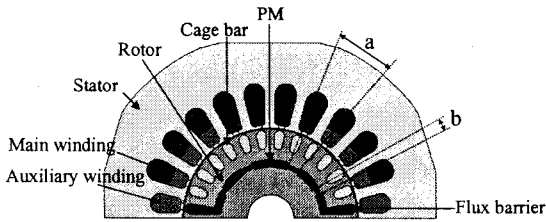


그림 4 수정 모델 1

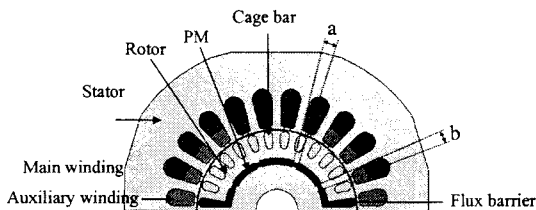


그림 5 수정 모델 2

그림 6은 초기 모델의 공극 자속 밀도 분포이다. 영구 자석을 여자 시킨 후 정자장 해석을 수행하였다. 회전자 바에 의한 영향으로 파형이 매끄럽지 않다. 그림 7과 8은 각각의 수정된 모델의 해석 결과이다. 3조각의 호 모양의 자석 사이의 공기로 채워진 부분을 줄인 결과 누설 자속의 감소와 사용량의 증가로 인하여 증가된 자속 밀도 분포를 나타내었다. 또한 보다 정현적인 분포를 나타낸다.

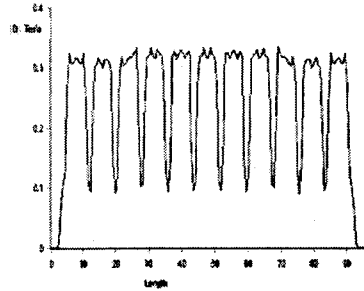


그림 6 초기 형상의 공극 자속 밀도 분포

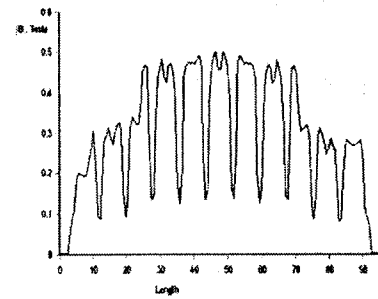


그림 7 수정 모델 1의 공극 자속 밀도 분포

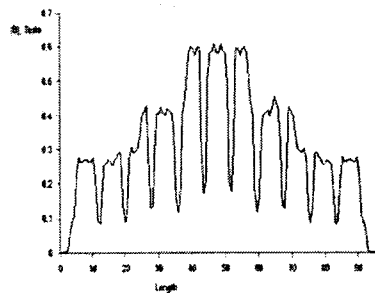


그림 8 수정 모델 2의 공극 자속 밀도 분포

2.2.2 고정자 설계

단상 전동기이므로 고정자는 주권선과 보조 권선으로 이루어진다. 권선비가 높을 수록 전동기의 평형 운전에 가까워진다. 그러나 권선비는 기동 조건에 의해 제약받기 때문에 기동을 고려한 설계가 요구된다. 높은 권선비는 기동 토크를 제한하고 기동 커패시터에 큰 전압을 걸리게 할 수 있다. 따라서 평형 동작 조건과 기동 토크를 만족시키는 적절한 권선비 선정이 요구된다[3].

3. 특성 해석

고정자의 주권선과 보조 권선을 권선각 변환과 권선비 변환을 통해 이상적인 2상으로 모델링 한 후 회전자 축을 기준으로 하는 회로 모델을 세운 후 D-Q 변환을 한다.

식 (1), (2)와 같이 D-Q 전압 방정식을 쇄교 자속과 전류에 관한 미분 방정식 형태로 만든다. 영구 자석은 계자 전류원으로 치환하여 식(4)와 같이 나타낸다[4].

$$V_d = R_a I_d + p \lambda_d - \lambda_q p \theta \quad (1)$$

$$V_q = R_a I_q + p \lambda_q + \lambda_d p \theta \quad (2)$$

$$p = \frac{d}{dt} \quad (3)$$

$$I_{pm} = \frac{E_0}{x_{md}} \quad (4)$$

여기서 V_d 는 d축 전압, V_q 는 q축 전압, R_a 는 상저항, I_d 는 d축 전류, I_q 는 q축 전류, λ_d 는 d축 쇄교 자속, λ_q 는 q축 쇄교 자속, θ 는 고정자 d축과 회전자 d축이 전기적으로 이루는 각이다.

그림 9, 10, 11은 각각 모델의 속도 특성이며, 그림 12, 13, 14는 토크 특성이다.

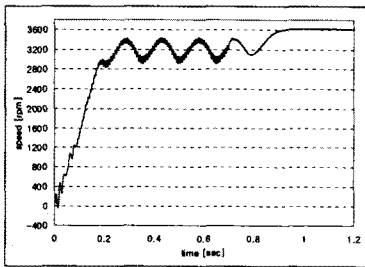


그림 9 초기 형상의 속도 특성

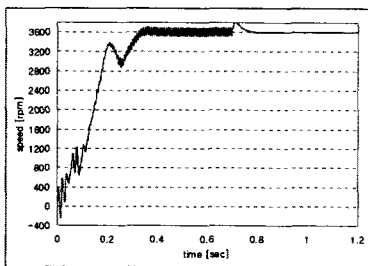


그림 10 수정 모델 1의 속도 특성

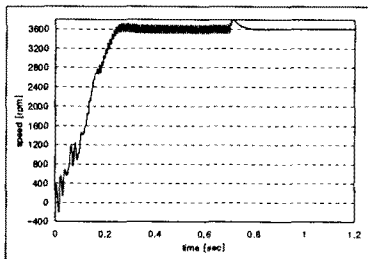


그림 11 수정 모델 2의 속도 특성

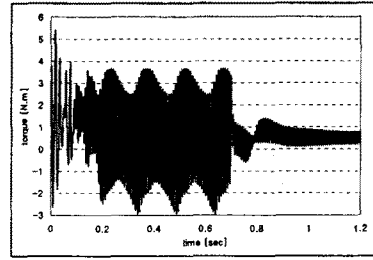


그림 12 초기 형상의 토크 특성

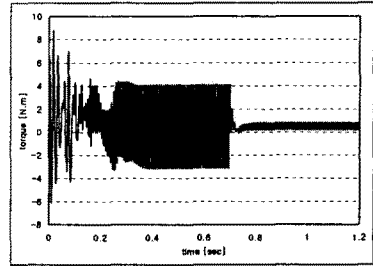


그림 13 수정 모델 1의 토크 특성

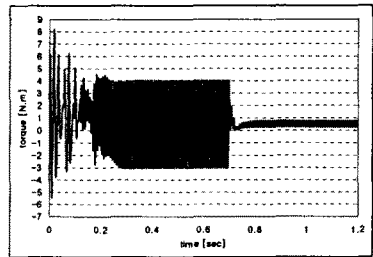


그림 14 수정 모델 2의 토크 특성

4. 결 론

본 논문에서는 단상 LSPM 동기 전동기 설계 과정과 설계 변수 변화에 따른 특성 해석을 수행하였다. 비선형 특성을 고려하기 위하여, 유한 요소 해석을 결합한 등가 회로법을 이용한 설계 방법도 제시하였다.

단상 LSPM 동기 전동기 설계는 회전자 설계와 더불어 평형 2상의 조건에 맞는 고정자 파라미터 선정도 중요하다. 따라서 단상으로 인한 불평형 자계 형성을 고정자 권선비와 커패시터 용량 조절에 따라 평형 운전 조건에 가깝게 설계해야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] S. A. Nasar, I. Boldea, L.E Unnewehr, Permanent Magnet Reluctance, and Self-synchronous Motor, CRC press, 1993
- [2] Timothy J. E. Miller, "Synchronization of Line Start Permanent Magnet AC motors", IEEE Trans. Power Apparatus, syst., Vol. PAS-103, No. 7, July 1984
- [3] V. B. Honsinger, "Permanent Magnet Machines: Asynchronous Operation", IEEE Trans. Power Apparatus, syst., vol 99 no 4, pp. 1503-1509, 1980
- [4] Timothy J. E. Miller, "Single-Phase Permanent Magnet Motor Analysis", IEEE Trans. on Industry Application, no. 4, pp.651-658, 1985.