

커패시터 운전 단상 영구자석형 동기전동기 기동특성에 관한 연구

홍순기

호서대학교 전기정보통신공학부

A Study on the Starting Characteristics for Capacitor-run Single Phase Permanent Magnet Synchronous Motor

Sun-Ki Hong

School of Electrical Engineering, Hoseo University

Abstract - 단상 전원에 의해 기동 및 운전되는 영구자석형 동기전동기는 일반 단상 유도전동기에 매우 높은 효율을 갖게 되지만, 회전방향을 정하기가 어렵다. 본 연구에서는 커패시터를 사용하는 커패시터 운전 유도전동기와 같은 구조에 회전자를 영구자석을 사용하는 경우에 대하여 연구하였다. 즉, 회전자 조건에 따른 기동 조건을 계산하고, 이로부터 회전방향을 결정할 수 있어 고 효율로 팬부하와 같은 기동토크가 작은 부하에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서 론

에너지 문제가 더욱 대두됨에 따라 전력기기의 효율 증대는 더욱 중요한 목표가 되고 있다. 대형 전력기기는 대부분 매우 높은 효율로 운전되지만, 보통 단상 분수마력 이하의 소용량 모터들은 아직도 효율이 매우 낮은 뿐만 아니라, 소형일수록 효율은 더욱 낮아지고 있다. 특히 팬부하 등에 사용되는 수십와트급 이하의 유도전동기는 그 효율이 15% - 45%정도 밖에 안되지만 전체 사용대수는 매우 많기 때문에 전체적인 전력 손실은 무시할 수 없을 정도이다. 반면, 영구자석은 날이 갈수록 더욱 고성능이면서 가격은 낮아지고 있는 추세이어서, 영구자석을 이용한 고효율화 전동기에 더욱 관심이 몰리고 있다. 이에 따라 단상 라인스타팅 PM 동기전동기[1]는 기동과 운전에서 제어용 전자회로나 필요없이 단상전원만으로 운전된다는 점에서 관심을 모았지만, 부하조건, 전압조건 등에 따라 기동이 어렵거나, 회전방향을 예측하기 힘들다는 점에서 보편적으로 사용되는데 제한이 되고 있다. 본 논문에서는 고정자는 일반적으로 이용되는 커패시터 운전 유도전동기와 같은 구조에서 회전자가 영구자석인 경우에 대해 기동 특성을 연구하였다. 라인스타팅 영구자석형 전동기는 회전자 구조가 유도기와 조합된 경우[2]가 있지만, 이러한 경우는 회전자 구조가 복잡해지는 단점이 있다. 영구자석만 존재하는 경우는 자체 관성과 부하 및 전원 조건에 따라 기동에 큰 영향을 받는다. 본 연구에서는 이러한 영향을 고려할 수 있는 모델을 통해 시뮬레이션을 하여, 운전 가능범위와 이로부터 고효율로 운전되는 단상 동기전동기에 가능성을 제시한다.

2. 본 론

2.1 단상 영구자석 전동기

단상 영구자석 전동기는 단상으로 운전되는 영구자석이 이용되는 전동기를 통칭하기 때문에, 유도전동기 원리를 이용하여 기동하는 경우를 포함하기도 한다. 여기서는 회전자가 영구자석으로만 되어 있고, 기타의 기동을 위한 특별한 구조는 없는 경우에 대하여 연구이며, 단상 코일만 있는 경우와, 2상의 경우 및 커패시터 운전 영구자석형 동기 전동기 3가지 경우에 대하여 연구하였으며, 각각의 장단점을 비교하였다.

2.1.1 단상권선 영구자석 전동기

단상만 권선이 되어 있는 영구자석을 회전자로 사용하는 경우[1]는 그 구조가 매우 간단해서 저가로 개발하는데 유리하다. 가장 간단한 구조는 세이딩코일형 유도전동기와 같이 구성될 수 있으며, 그림 1은 단상 동기전동기의 등가회로이다.

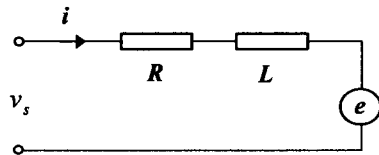


그림 1 단상 영구자석 전동기 등가회로

위와 같은 등가회로에서 다음과 같은 방정식을 세울 수 있다.

$$v_s = Ri + L \frac{di}{dt} + e \quad (1)$$

여기서,

$$v_s = \sqrt{2} V_m \sin(\omega_s t + \theta)$$

$$e = k_e \omega_r \sin(\theta_r)$$

또한 운동방정식은 다음과 같다.

$$T_e = J \frac{d\omega}{dt} + T_L = i \lambda_m \sin(\theta_r) \quad (2)$$

여기서, p 를 극 짝수라고 할 때,

$$\lambda_m = \frac{k_e}{p} \quad (3)$$

이로부터 매트랩과 시뮬링크를 이용하여 시뮬레이션이 가능하며, 그림 2는 시뮬링크에 의한 해석 모델을 보여 주고 있다.

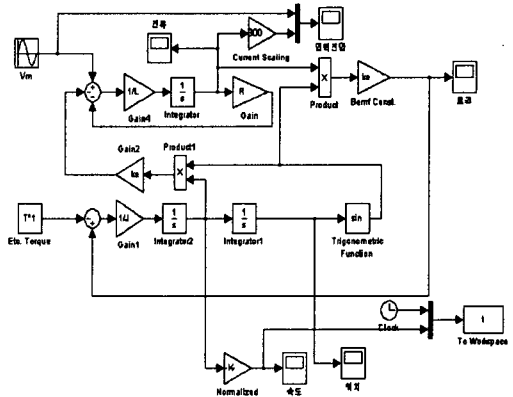


그림 2. 단권선 영구자석 동기전동기 동적시뮬레이션

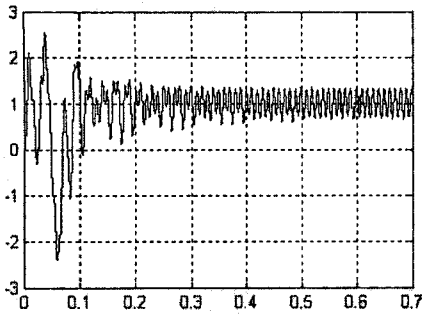


그림 3 단권선 동기기의 속도응답 특성

그림 3은 그림 2와 같은 경우에서 속도 단위 응답 특성을 보여주고 있으며, 단상 전원에 의해 기동, 회전하기 때문에 정상상태에서도 수십 % 정도의 속도 변동이 있을 뿐만 아니라, 기동시 모터 자체 및 부하 관성에 따라 기동 자체가 안되는 경우가 발생할 수 있다. 이것은 교반회전자계가 2회전자계로 해석될 수 있기 때문에 동기속도로 회전할 수 있지만, 반대로 기동 자체가 불가능할 수 있음을 보여주는 것이다. 더욱이, 기동이 되더라도, 기동 조건, 즉 전압의 크기나 스위치가 인가될 때의 전압의 위상 조건에 따라 전동기의 회전 방향도 확률적으로 정해지지 않는다는 것이다. 회전 방향이 중요하지 않은 일부의 경우를 제외하고는 팬과 같이 방향이 정해져야 하는 일반적인 부하에 대하여는 적용하기 어려운 점 이 있다.

2.1.2 2상 영구자석형 동기전동기

2상 전원은 인버터 등을 사용하지 않고는 일반적으로 얻기 어려워 실용적이라고 하기는 곤란하지만, 동작 특성을 이해하기 위해서는 2상 동기전동기에 대한 시뮬레이션은 중요하다고 할 수 있다. 그림 4는 2상 전원에 따른 시뮬링크에 의한 동기전동기 모델이다. 물론 모터 역시 2상 대칭 권선이 되어 있는 경우이다. 이 경우는 원회전자계가 만들어지기 때문에, 단상권선의 경우 보다는 훨씬 영구자석 회전자의 기동이 유리하고, 이상적인 운전 환경이라고 할 수 있다. 이러한 조건하에서는 회전 관성에 대한 가장 좋은 응답 특성을 갖을 것을 예측할 수 있다.

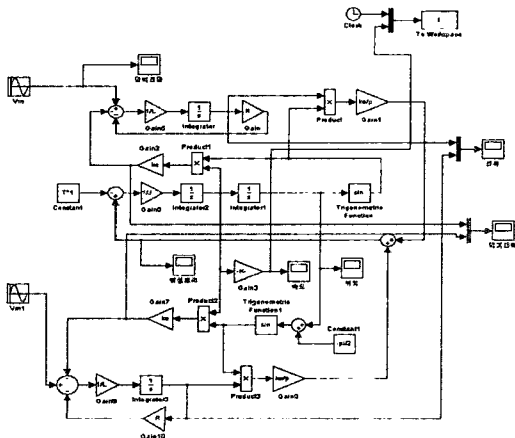


그림 4. 2상 영구자석동기전동기 과도상태 시뮬레이션

이러한 모델로부터 그림 5는 전류 파형을 나타내며, 속도 특성은 그림 6과 같다. 그림에서 알수 있듯이 정상상태에서 매우 안정한 속도 특성을 갖고 있음을 보이고 있다. 원 회전자계가 가해진다고 해서 받드시 기동할 수 있는 것은 아니다. 그러나, 이 조건이 가장 기동 토크를 크게 발생시킬 수 있기 때문에 이에 가까운 조건을 만들수록 유리하게 된다. 즉, 이러한 조건하에서는 상대적으로 매우 안정적인 운전이 가능할 뿐 아니라, 기동 특성도 단상에 비해 매우 안정적인 회전방향을 갖고, 기동 부하 내량도 크다는 것이다.

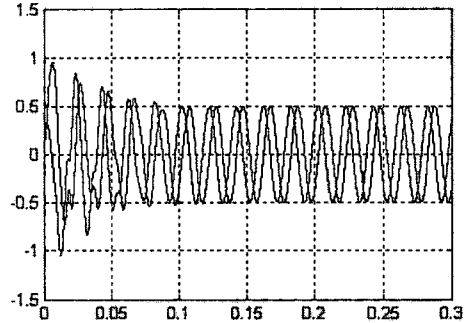


그림 5. 2상 동기기 전류파형

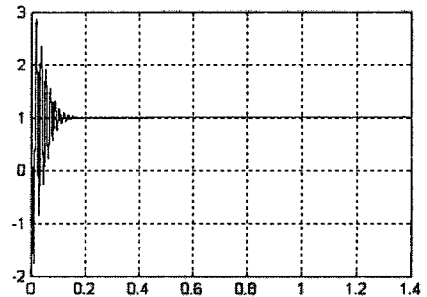


그림 6. 2상 동기전동기 속도 파형

2.2 커패시터 운전 단상 동기 전동기

단상 영구자석형 동기전동기는 결국 정상상태에 이르게 되면, 입력과 출력 관계로부터 효율을 구할 수 있다. 커패시터 운전인 경우는 보조권선측 전압 방정식이 커패시터에 의하여 식(4)와 같게 된다.

$$v_a = R a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + \frac{1}{C} \int i_a dt + e_a \quad (4)$$

전원 전압은 동일전원을 사용하므로, v_a 는 식(1)의 v_s 와 같다. 이로부터 커패시터 운전 동기전동기의 모델을 구한 것이 그림 7과 같이 된다. 커패시터 운전 동기전동기는 상대적으로 많은 변수를 갖게 된다. 보조권선의 도선 종류, 턴수, 커패시터 용량 및 전원 조건 등 많은 변수에 따라 운전 특성이 변화를 갖게 된다. 여기서, 보통 이런 경우 커패시터는 가격 등을 고려하여, 0.5 ~ 1.5 μF 정도를 사용한다. 2상 동기기가 이상적인 경우라고 생각하면, 결국 원회전자계에 가까운 기자력을 낼 수 있는 조건을 찾는 것이지만, 여러 가지 원인으로 원회전자계를 정확히 만들기는 어렵다. 그러나, 이에 가까운 조건일수록 좀 더 좋은 기동 특성과 정상상태를 갖게 된다. 또한, 이 전동기는 기동 가능성 여부가 가장 중요한 문제가 되며, 부하로 작용하는 부분은 모터 자체의 관성

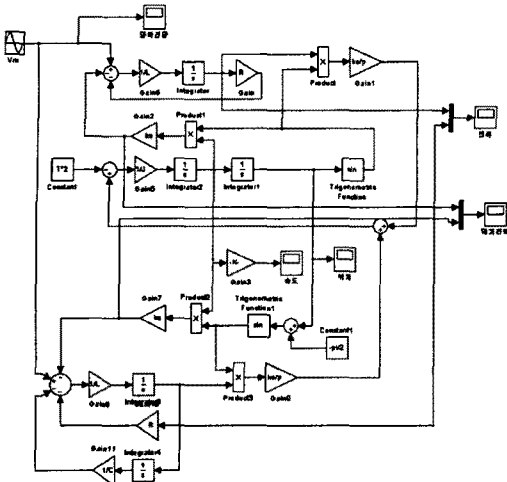


그림 7. 커패시터 운전 동기전동기 동적 시뮬레이션

에 부하 관성을 더하여 고려하여야 한다. 따라서, 일정 크기의 부하를 갖는 경우 보다는 기동시는 거의 부하로 작용하지 않은 팬 부하 등이 적당하다.

2.2.1 시뮬레이션

그림 7과 같은 모델을 이용하여 영구자석 회전자를 갖는 커패시터 운전 동기전동기를 모의하였다. 여기서 마찰 손실이나 스트레이 손실 등은 무시하였다. 기본 사양은 다음과 같다.

표 1. 전동기 사양

| | |
|-------------------------|----------------|
| 전원전압 [V] | 220 |
| 극수 | 6 |
| 관성 [Kg m ²] | 3.76E-5 |
| 저항 [Ohm] | R1=403, R2=285 |
| 인덕턴스 [mH] | L1=924, L2=642 |
| 커패시터 [μF] | 1.5E-6 |

그림 8은 주전선, 보조전선에 의한 토크의 합성 토크를 나타내고 있으며, 결과적으로 합성토크가 평균적으로 양의 값으로 진동하여, 정회전을 하게 된다.

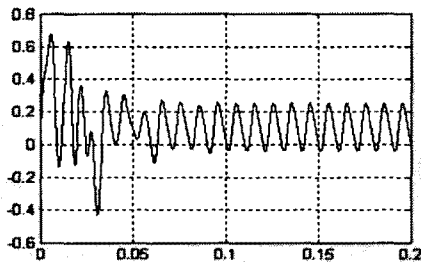


그림 8 합성 토크 파형

그림 9는 이 때 흐르는 전류의 파형이다. 가능한 주전선과 보조전선에 흐르는 전류의 위상차는 90도에 가까울수록 유리하다. 그림 10은 최종적으로 속도 파형이며, 부하와 전원 조건에 따라, 동기속도에 이르지 못할 수도 있다. 그림에서 1은 동기속도의 단위값을 보여주고

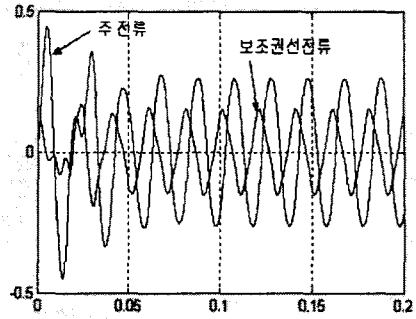


그림 9 주, 보조전선에 흐르는 전류 파형 있다.

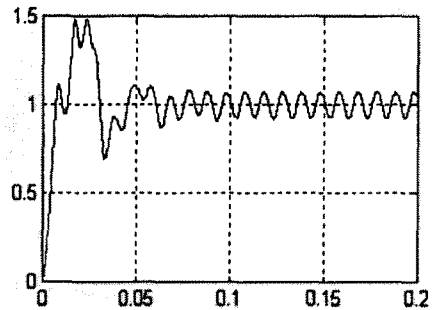


그림 10 단상 동기전동기 속도 파형

그림 10. 단상 동기전동기 속도 파형

3. 결 론

단상 전원에 의해 기동 및 운전되는 영구자석형 동기전동기를 시뮬레이션하였다. 특히 본 연구에서는 커패시터를 사용하는 커패시터 운전 유도 전동기와 같은 고정자 구조에 회전자를 영구자석을 사용하는 경우에 대하여 연구하였다. 즉, 회전자의 치수에 따른 관성을 고려하여 이에 따른 기동 조건을 계산하고, 과도현상을 모의하였다. 이로부터 회전방향을 결정할 수 있어 고효율로 팬부하와 같은 기동토크가 작은 부하에 적용될 수 있을 것으로 생각되며, 영구자석 회전자를 이용하는 응용분야 적용이 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] Nesimi Ertugrul and Christian Doudle, "Dynamic Analysis of a Single-Phase Line-starting Permanent Magnet Synchronous Motor", Proceedings of the 1996 International Conference Power Electronics, Drives and Energy Systems for Industrial Growth, Vol.1, 8-11, pp.603-609, Jan. 1996.
- [2] Richter, E., Neumann, T., "Line start permanent magnet motors with different materials", IEEE Trans. on Magnetics, Vol.20 No.5, pp.1762-1764, Sep. 1984.
- [3] A.M.Knight and J.C.Salmon, "Modeling the Dynamic Behaviour of Single-Phase Line Start PMSM", Proceeding of 34 Annual meeting of IEEE-Industry Applications society, 1999, pp.2582-2587.
- [4] T.J.E.Miller, "Single phase Permanent Magnet Motor Analysis", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. IA-21, May-June 1985, pp.651-659.