

동기전동기의 시동 및 운전특성 해석

박한규, 송호신, 황정원, 조용길, 우정인
 동아대학교 전기공학과

An Analysis of Starting and Driving Characteristics
 of Synchronous Motor

Han-Kyu Park, Ho-Shin Song, Jung-Weon Hwang, Yong-Kil Cho, Jung-In Woo
 Dept. of Electrical Engineering, Dong-A University

Abstract

In this paper, to estimate starting torque of synchronous motor by simple test, we propose a new method which is the combination of commercial tests and single phase AC applied test of synchronous motor. A driving characteristic was examined when field winding is supplied a dc and chopper current. The starting characteristics are assumed and agreed with actual data.

1. 서론

현재, 동기전동기는 효율이 높고 전압변화에 대한 최대토크의 변화가 적으며 역률 1로서 운전 가능하다는 잇점으로 각종 산업기기에 많이 채용되고 있다. 산업현장에서 시동 전류, 시동 토크 등의 시동 특성을 직접 측정하는 경우도 있지만, 시험설비의 대용량화로 인한 어려움이 존재한다.

따라서, 본 연구에서는 시동(제동)권선이 부가된 동기전동기에 대해서 단상 교류인가법과 일반적인 시험결과를 조합해서 가변주파수 입력에 따른 시동특성을 고찰하고자 한다.⁽¹⁾⁽²⁾

또한, 동기속도 운전을 위한 계자전류는 일반적으로 직류전원장치를 이용하고 있지만, 계자 전원장치 설비의 용량증대로 인한 문제점이 따른다. 따라서, DC 초퍼를 인가할 경우와 비교하여 동기전동기의 가변주파수에 따른 가변속 운전특성을 고찰하고 또한, 초평 계자전원의 공급에 대한 입력주파수 가변에 따른 전기자 반작용을 고찰하고자 한다.

2. 시동특성 추정법

동기전동기의 d, q축 저항과 리액턴스가 일정하다면, 시동특성의 해석은 d, q축 등가회로를 분리 결정하는 것으로서 추정이 가능하다. 시험결과에서 각 임피던스 분리법에 의해 계자권선과 시동권선의 저항 및 리액턴스의 결정법을 정리하였다.

1) 전기자권선 교류저항 r_a

3상 단락 특성시험에 의해 정격전류 I_n 및 계자전류 I_f ($I_f=0$)에 의한 입력전력 값의 차로써 구해진다.

2) 전기자 누설리액턴스 x_l

무부하 포화곡선, 단락 특성곡선 및 전기자 반작용 임피던트의 설계치로부터 전기자 누설리액턴스의 값이 추정된다.

3) d축 여자리액턴스 x_{ad}

d축 여자리액턴스는 물리적으로 d축 전기자 반작용 리액턴스이므로, d축 동기리액턴스 x_d 는 무부하 포화곡선과 단락 특성곡선으로부터 구해진다. 이 값으로부터 앞에서 계산한 전기자 누설리액턴스 x_l 을 제거하면 구할 수 있다.

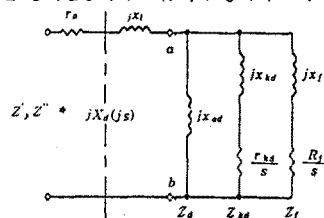
4) q축 여자리액턴스 x_{aq}

q축 동기리액턴스 x_q 는 슬립법으로 구하고, q축 여자리액턴스는 3)과 같은 방법으로 추정된다.

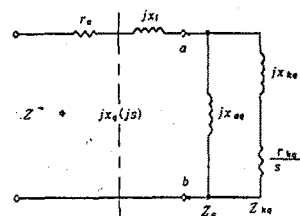
5) 계자권선 및 시동권선속 임피던스 (r_f, x_f, r_{kd}, x_{kd})

d축에는 계자권선과 시동(제동)권선의 2개의 권선이 존재한다. 시동권선은 외부에 단자가 나와 있지 않으므로 임피던스를 구하기 위해서는 계자권선의 외부접속 상태를 변화시키고, 정지상태(동기회로에서는 $S=1$)에서 단상 교류 인가법을 통해서 추정된다.

그림 1은 동기전동기의 d축, q축 등가회로이다.⁽³⁾



(a) d축



(b) q축

그림 1. 동기전동기의 d, q축 등가회로

6) 시동권선 q축임피던스 (r_{kq}, x_{kq})

그림 1(b)와 같이 q축에는 시동(제동)권선만이 존재한다. q축 임피던스는 정지상태에서 q축 단상 교류인가법에 의해 추정된다.

3. 시동특성 추정과 측정 및 비교

단상 교류인가법에 의해 분리된 동기회로 정수를 사용하여 계자회로의 단락 및 외부저항의 부가 ($R_f = 10r_f$)에 의해 토오크-슬립특성 및 전류-슬립특성을 추정하였다.

또한, 토오크, 전류 및 회전자 속도의 측정방법은 그림 2와 같다.

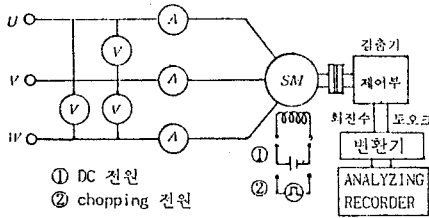


그림 2. 토오크 측정회로

그림 3은 계자회로를 단락($K=1$)한 경우와 계자 외부저항을 부가한 경우의 토오크-슬립특성이다. 실선이 추정(계산)값이며, x표가 $K=1$ ($R_f = r_f$), o표는 $K=10$ ($R_f = 10r_f$)일 때의 각각의 측정값이다.

그림 4는 전류-슬립특성 곡선이다. 추정(계산)값 및 측정값이 거의 일치함을 알 수 있다. 전류의 측정값은 그림 2로부터 각 상의 전류값을 평균함으로써 구해진다.

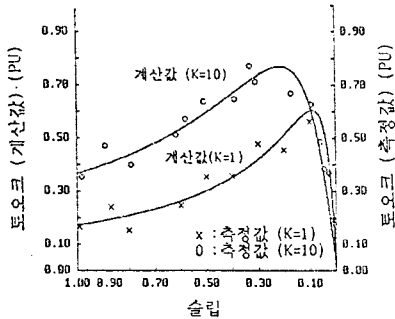


그림 3. 토오크-슬립특성

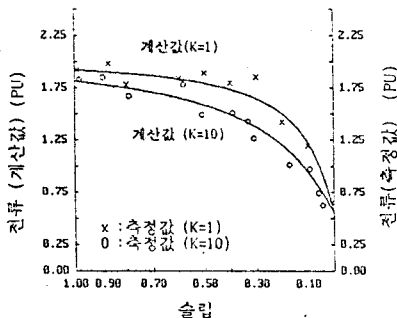


그림 4. 전류-슬립특성

4. 가변주파수에 따른 운전특성

그림 3의 토오크 특성에서 동기전동기의 계자전압에 대한 토오크 증가 특성을 볼 수 있었다. 정상상태에서 계자측 전류변화에 대한 전기자전류를 고찰하여 동기전동기의 가변주파수에 따른 입출력 특성 및 리액턴스 응답성을 고찰한다. 특히, 계자측가의 상호 리액턴스 간섭을 고찰하기 위해서 계자 전원을 DC로 인가했을 때와 DC차퍼로 인가했을 때의 전기자 반작용에 의한 입력전류 및 계자전류를 비교 검토한다.⁽⁴⁾

그림 5는 전기자 입력 주파수를 10Hz에서 90Hz로 가변속 운전할 때의 계자전류의 변화를 보인 것이다. 곡선 ①은 직류계자전류 때이며, 곡선 ②는 10kHz로 초핑된 계자전류 때로서 곡선 ①보다 약 23%의 계자전류가 감소된 것을 볼 수 있다.

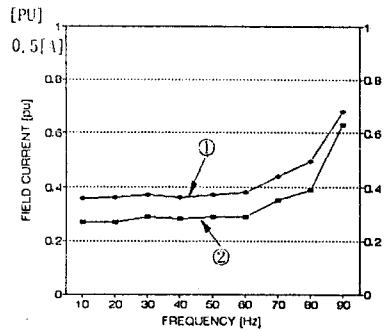


그림 5. 주파수변환에 따른 계자전류의 변화

그림 6에서는 전기자측 리액턴스와 계자측 리액턴스의 상호 간섭을 고찰했다. 곡선 ①은 계자측 권선에 10 kHz의 초핑 전류를 공급하고 가변속 운전했을 때의 특성이고, 곡선 ②는 직류계자전류 때이다. 변화비율은 거의 같으므로, 계자전류는 전기자 입력 주파수의 증가에 따라 증가 하는 것을 볼 수 있다. 곡선 ③, ④는 이때의 가변속 운전에 따르는 전기자 입력전류의 변화로서 동기전동기의 고속운전은 계자전류의 증가에 의해서 동기 안정영역을 확보할 수 있음을 보여주고 있다.

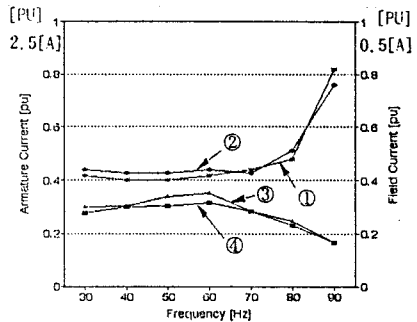


그림 6. 주파수변환에 따른 계자전류와 전기자전류의 비교

따라서, 계자권선의 주파수 응답에 따르는 임피던스 성분에 의한 상호 유도성 리액턴스는 무시해도 좋으며, 전기자측에서 보는 회전자의 가변 주파수에 따라 리액턴스만 고려하면 된다는 사실을 알 수 있다.

입력주파수를 증가시키면 동기상태에서 I_a 는 감소하고 I_f 는 증가한다. 따라서, 계자전류 I_f 가 증가하면 전기자 전류 I_a 는 감소하고, 계자축 V_f 와 I_f 가 비례관계이므로, 그 증가 특성이 거의 선형이다. 그러므로 주파수 영향은 거의 무시해도 좋다.

그림 7은 전기자 및 계자권선의 입력 전원주파수의 가변에 따른 임피던스 응답을 고찰한 것으로써, 곡선 ①에서 가변주파수에 따른 전기자 입력 임피던스의 급증을 보여 주고 있고, 곡선 ②는 가변 주파수 전기자전류에 대해서 계자권선의 임피던스가 불변하고 있음을 보여주고 있다.

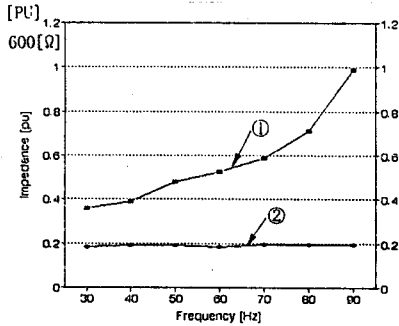


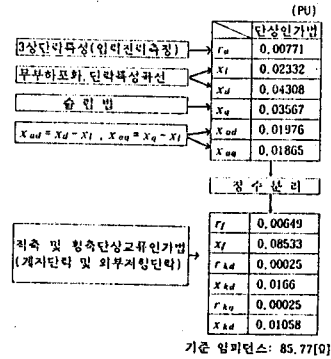
그림 7. 주파수변화에 따른 임피던스의 변화

7. 부록

표1. 동기전동기의 사양

상수	정격용량	정격전압 V_n	정격전류 I_n	주파수	극수
3	125 W	208 V	1.4 A	60 Hz	4

표2. 분리된 동기회로정수



5. 결론

본 논문에 제시된 시동특성추정법은 상용시험과 단상 교류인 가법을 조합하여 동기회로의 정수를 분리하고, 이것을 이용하여 시동특성을 얻고자 했다. 단상 교류인가법에 있어서 계자권선의 외부저항을 가변하여 2회 실시한 결과, 계자권선, 시동권선 임피던스를 분리 계산하는 간단한 방법을 제시하였다.

또한, 동기전동기를 가변속 운전하는 경우 전동기 자체의 리액턴스에 의한 에너지 축적과 전기자 권선과 계자권선과의 상호간섭에 의한 리액턴스 증가에 따르는 전기자 반작용을 고찰하기 위해서 계자권선에 쇼퍼전류를 가하여 시험한 결과 고속 운전시에는 계자 임피던스는 불변이고, 입력 임피던스만이 급증했으며 동기안정영역의 확보는 계자전류의 증가에 의해서 얻을 수 있는 것을 알 수 있었다.

6. 참고문헌

- [1] IEC Pub. 34-4 :Methods for determining synchronous machine quantities from tests 1985
- [2] P.Hammond, 「Parameter Estimation, Condition Monitoring, and Diagnosis of Electrical Machines」 1993, OXFORD PRESS.
- [3] 荒・小田 : 「始動捲線付き同期電動機の始動特性推定法」電學論 D, 110, 873 (平2)
- [4] 加賀貞廣, 「同期機」 1967, 東京電機大學出版局