

5상 유도전동기의 파라미터 추정

김남훈, 백원식, 김민희, 정형우, 김동희
엔에이치 컨설팅, 영남이공대학, 신한모터, 영남대학교

A Parameters Estimation of Five-phase Induction Motor

Namhun Kim, Wonsik Baik, Minhuei Kim, Hyungwoo Jung, Donghee Kim
NH Consulting, Yeungnam College of Sci. & Tech., Shinhan Motor, Yeungnam Univ.

ABSTRACT

다상 유도 전동기(Multi phase induction motor)의 고성능 제어를 수행하기 위해서는 정확한 파라미터 계산이 필수적이다. 특히 전동기의 벡터제어(FOC, Field oriented control)나 직접토크제어(DTC, Direct torque control)와 같은 고성능 제어 시스템의 경우, 슬립 계산이나 자속관측기 그리고 PI 제어기 게인 추정에서 전동기 상수들이 필수적으로 사용된다. 본 논문에서는 실험용으로 집중권(Concentrated winding) 구조를 가지는 2kW, 5상 유도전동기를 제작하였으며, 5상 유도전동기 파라미터 추정에 대한 방법을 제시하였다. 일반적으로 다상 유도전동기의 경우 1차 공간 고조파(1st space harmonic) 성분에만 파라미터만을 추정하여 제어에 사용하지만, 본 논문에서는 1차 공간 고조파 성분과 3차 공간 고조파(3rd space harmonic) 성분에만 파라미터 추정 방법을 제시한다. 결과적으로 제안된 파라미터 추정 방법의 타당성을 확인하기 위해서 설계값과 실험값을 비교하였다.

1. 서론

최근 전력전자의 발전과 전동기 신뢰성 문제에 대한 관심이 고조되면서 다상 전동기(Multi-phase motors)에 대해 많은 연구가 이루어지고 있으며, 특히 5상 기기(Five-phase machines)가 현재 많이 사용되고 있는 3상 기기(Three-phase machines)에 대한 대안으로 제시되고 있다. 5상 전동기는 같은 정격의 3상 전동기에 비해 상당 적은 정격전류를 가짐으로써 더 간단하면서 신뢰성 있는 등가회로를 구성 할 수 있고, 큰 토크밀도를 가지며, 높은 효율, 토크맥동의 감소, 고장에 대한 강인성 그리고 노이즈 특성 개선 효과를 가진다는 장점을 가진다.^{[1][2][3]}

AC 전동기 제어에 있어서, 벡터제어(Field oriented control)와 직접토크제어(Direct torque control)가 다양한 분야에 적용되고 있다. 벡터제어의 경우는 정밀하고 나은 동특성을 유지하기 위해서 제어기 게인 설정이나 슬립계산 등에 필수적으로 전동기 파라미터가 사용되어야 한다. 직접토크제어의 경우는 기본적으로 정확한 자속을 추정하기 위해서 벡터제어의 경우보다는 전동기 파라미터에 대한 의존성이 적지만, 최적제어나 정밀한 제어, 그리고 정확한 위치추정을 위해서는 전동기의 파라미터가 필연적으로 요구된다. 이와 같이 서보 시스템이나 정밀한 제어가 요구되는 산업현장에서는 전동기 파라미터에 대한 정보가 필수적이다.

본 논문에서는 5상 유도전동기의 파라미터 측정을 위한 방법에 대해서 연구하였으며, 시제품으로 제작된 5상 유도 전동기의 파라미터 측정을 위해서 TMS320F2812 DSP와 IGBT를 이용하여 5상 인버터 드라이버 시스템과 테스트 시스템을 구성하였다.

2. 5상 전동기

5상 유도전동기의 수학적 모델과 등가회로는 아래와 같다.

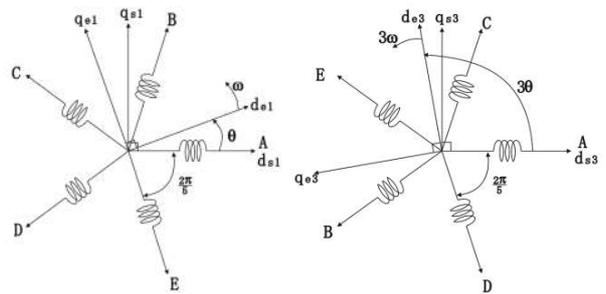


그림 1 5상 유도전동기의 벡터 다이어그램
Fig. 1 The vector diagram of five-phase im

3상 유도전동기는 기본파 성분과 $6k \pm 1$ ($k=1,2,3 \dots$) 고조파 성분이 기전력(magnetomotive force)과 토크를 발생시키며, 5상 유도기의 경우는 기본파 성분과 $10k \pm 1$ ($k=1,2,3 \dots$) 고조파 성분이 기전력(magnetomotive force)과 토크를 발생되며, 그림 1과 같은 벡터로 발생된다.^{[4][5]}

3. 시스템 구성 및 실험결과

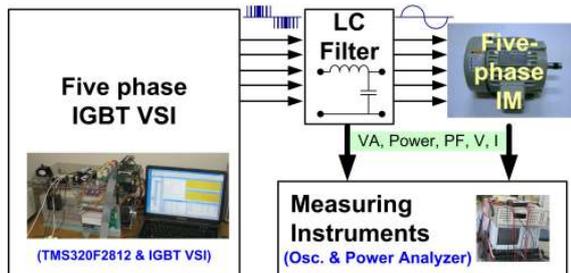


그림 2 시스템 구성
Fig. 2 System configuration

5상 유도기의 파라미터를 측정하기 위해서 무부하 테스트, 구속테스트를 수행하였으며, 그림 2에서 보는 것과 같이 고조파를 제거한 5상 AC 전압을 만들기 위해서 5상 VSI와 LC 필터를 구성하였다.

LC 필터의 차단 주파수는 1kHz로 설정하였으며, L값은 3.855mH, C는 6uF의 값을 선정하였다.

고정자 저항은 직접 측정을 통해서 5.65[ohm]을 얻었다.

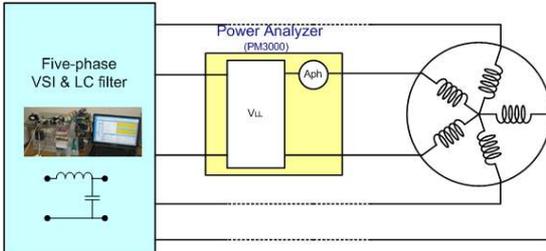


그림 3 시스템 구성
Fig. 3 System configuration

구속실험을 통하여 표1과 같은 값을 얻었으며, 아래의 수식을 이용하여 각 파라미터를 계산하였다.

$$X_{ls} + X_{lr} = Var / (5 \times Aph^2) \quad (1)$$

$$R_r = P_c / (5 \times A_{ph}^2) - R_s \quad (2)$$

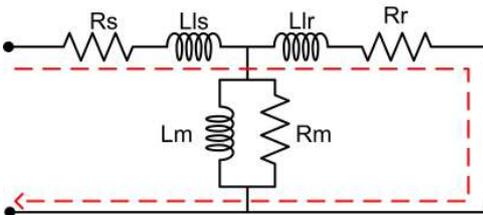


그림 4 구속회로 등가회로
Fig. 4 Equivalent circuit of blocked rotor test

무부하 실험을 통하여 표2와 같은 값을 측정하였으며, 아래의 수식을 이용하여 각 파라미터를 계산하였다.

$$(풍손 동손) = P_c - 5 \times A_{ph} \times R_s \quad (3)$$

$$R_m = 5 V_{ph}^2 / (풍손 동손) \quad (4)$$

$$X_m = 5 V_{ph}^2 / Var \quad (5)$$

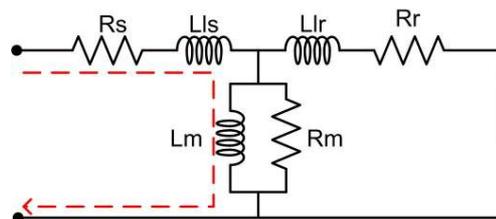


그림 5 무부하 회로 등가회로
Fig. 5 Equivalent circuit of no-load test

표 1 구속 실험을 통한 파라미터
Table 1 Parameters form blocked rotor test

피상전력[VA]	278.68	유효전력[W]	223.01
Aph[rms]	1.98	Vph[rms]	28.07

표 2 무부하 실험을 통한 파라미터
Table 2 Parameters form no-load test

피상전력[VA]	99.5157	유효전력[W]	74.4824
Aph[rms]	1.07	VLL[rms]	32.2

표 3 5상 유도전동기 파라미터
Table 3 Parameters of five-phase IM

Rs[ohm]	5.65	Rr[ohm]	5.693
Lls[mH]	22.5	Llr[mH]	22.5
Lm[mH]	417	Rm[mho]	117

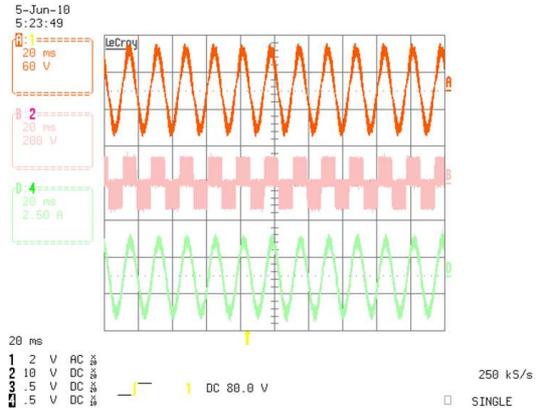


그림 6 구속실험 파형
Fig. 6 Equivalent circuit

4. 결론

본 논문에서는 5상 유도전동기의 파라미터 측정에 대해서 제안하였으며, 수리적인 모델링과 여러 가지 테스트를 통하여 5상 유도전동기의 기본적인 파라미터를 계산하였다. 차 후 실험을 통해 얻어진 파라미터를 기초로 다양한 제어 방법을 적용할 예정이다.

이 논문은 영남대학교의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Hamid A. toliyat, Shailesh P. Waikar, and T.A. Lipo, "Analysis and Simulation of Five-phase Synchronous reluctance Machines including third harmonic of airgap mmf", IEEE Trans. on IA, VOL 34, pp. 332-339, march/April 1998.
- [2] H.M. Ryu, J.H. Kim, and S.K. Sul, "Analysis of Multiphase Space Vector Pulse-Width Modulation Based on Multiple d-q Spaces Concept," IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 20, No. 6, Nov. 2005
- [3] Huangsheng Xu, Hamid A. Toliyat "Five-phase Induction Motor Drives With DSP-Based control system" IEEE Trans on Power Electronics vol. 13, No.4, July 2002.
- [4] H.A. Toliyat, "Analysis And Simulation of Five-Phase Variable-Speed Induction Motor Drives Under Asymmetrical Connections," IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 13, No.4, pp. 748-756, July 1998.
- [5] D. W. Novotny and T. A. Lipo, "Vector Control and Dynamics of AC Drives." Oxford, UK: Oxford Univ. Press, 1996.