Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 21, No.1, pp. 125~130 January 2007 논문 21-1-17

매트랩을 이용한 단상유도전동기 등가회로 정수 산출에 관한 연구

(The Study of Determination to Equivalent Circuit Parameters for Single phase Induction Motor using MATLAB)

이병선* · 김양호
(Byung-Sun Lee · Yang-Ho Kim)

요 약

단상유도전동기는 상용화된 전원을 변환장치 없이 직접 사용할 수 있어 가전제품의 전 분야의 동력원으로 사용되고 있다. 이와 같은 단상유도전동기를 해석하고 효율적으로 운용하기 위해서는 내부 등가회로 정수의 정확한 산출이 요구된다.

순단상유도전동기의 해석에는 교차자계설에 의한 방법과 회전자계설에 의한 방법이 있다는 것은 주지의 사실이지만 기존의 이론이나 방법에서 전동기 내부 정수를 산정하기 위한 방법은 다소 복잡하다. 최근 컴퓨터나 마이크로프로세서의 발전에 따라 수치적 해석법과 등가회로법을 결합한 회로정수의 산정법이 제안되고 그 계산 처리 속도 또한 빠르며 정확해 지고 있다. 이에 정수 측정 전용 프로그램을 구현하여 단상유도전동기의 실험 결과를 산출하여 실시험을 이용하여 구하는 방법을 제시하고자 한다.

본 논문에서는 단상유도전동기에서 개별적으로 측정이 불가능한 1차 및 2차 누설리액턴스를 무부하시험, 구속시험, 그리고 고정자 권선의 저항 측정시험을 디지털 계측기를 이용하여 정확히 측정하고 측정한 디지털 계측값을 구현된 회로정수 계산프로그램으로 계산후 산출하는 방법을 제시하고 시행하였다.

Abstract

Single-phase is used widely power of field of appliance because can use commercialized power directly without power transform. Specially, because condenser run-drive style single-phase induction motor efficiency is excellent, and most suitable in embodiment as economical.

It is established true that method by crossing self-discipline and method by revolving magnetic field are interpretation of net single-phase induction motor, but method to calculate electric motor inside proper move in existent theory or method is some complex. That arbor in the law of circuit constant that combine equivalent circuit law with numerical analysis law according to development of the latest computer or microprocessor is suggested and does the calculation processing fast and correct.

In this paper, measurement wishes to present method that calculate after calculate digital measurement that measures correctly and measures impossible the first and the second leakage reactance and no-load test, locked-rotor test, DC test and resistance measurement of stator winding in circuit parameter calculation program that is had for MatLab program individually in single-phase power.

Key Words : Single phase induction motor, Equivalent Circuit Parameters

* 주저자 : 김포대학 유비쿼터스IT학과
Tel : 031-999-4169, Fax : 031-999-4775, E-mail : bslee@kimpo.ac.kr
접수일자 : 2006년 9월 20일, 1차심사 : 2006년 9월 26일, 2차심사 : 2006년 11월 6일, 심사완료 : 2006년 11월 20일

1. 서 론

단상유도전동기에서는 교번자속을 정상과 역상의 회전자계로 나누어 유도전동기의 이론을 적용함으로써 슬립대 토크 특성을 직관적으로 이해할 수 있으며 정성적인 특성을 구할 수 있다는 잇점이 있다.

콘덴서 구동형 단상유도전동기는 보조권선에 콘덴서를 결합한 구조로써 주권선과 보조권선의 기자력의 차에 의해 평형 다상기와는 달리 불평형의 타원 자계가 형성된다. 따라서 콘덴서 구동형 단상유도전동기의 등가회로 구성은 회전자계설의 이론을 바탕으로 불평형 상태를 해석하기 위해 불평형 상태를 각각의 대칭분으로 분해해서 해석하는 대칭좌표계법을 이용한다[1].

이와 같은 목적을 이루기 위하여 본 논문에서는 등가회로 정수를 산출하기 위한 실측 시험은 25[W] 단상유도전동기(SPG, S8125DB) 를 사용하였으며, 단상전력과 전압, 그리고 전류및 주파수 측정은 Autonics MT4W 계측기를 사용하였고, 측정된 디지털 계측값은 매트랩을 이용한 프로그램에 사용하고 작성한 정수 산출용 프로그램에서 정수를 구하였다.

2. 단상 유도전동기 등가회로 유도

단상 유도전동기는 그림 1과 같이 회전자계로 동작하는 2상 유도전동기의 결상 운전에 해당되므로 단상 유도전동기의 등가회로는 2상 유도전동기에 대칭좌표법을 적용하여 구할 수 있다.

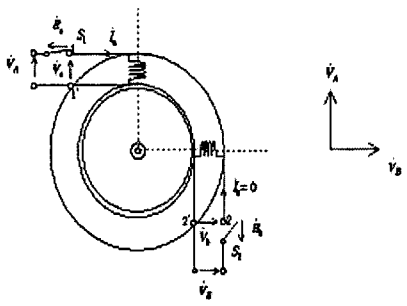


그림 1. 2상 유도전동기의 단상운전
Fig. 1. Single phase operation of two phase induction motor

아래 그림 1과 같이 스위치 S_1은 ON, S_2는 OFF 되고, 인가전압은 2상평형 전압이 인가된 것으로 하여, 전원이 접속된 A상을 기준으로 대칭 좌표법을 적용 한다[2-3].

그림 1에서 A상과 B상에 대칭좌표법을 적용하면 각상의 전동기 단자 전압 $\dot{V}_a$, $\dot{V}_b$는 다음과 같다.

$$\dot{V}_a = \dot{V}_A - \dot{E}_a = \dot{V}_A \tag{1}$$

$$\dot{V}_b = \dot{V}_B - \dot{E}_b$$

여기서,

$\dot{E}_a = 0$: 스위치 S_1의 단자 전압

$\dot{E}_b \neq 0$: 스위치 S_2의 단자 전압

식 (1)에 대하여 2상 전동기의 단자를 중심으로 대칭좌표법을 적용하여 전압의 정상분과 역상분 $\dot{V}_{a1}$, $\dot{V}_{a2}$ 그리고 전류의 정상분과 역상분 $\dot{I}_{a1}$, $\dot{I}_{a2}$를 구하면 식 (2), (3)과 같다.

$$\dot{V}_{a1} = \frac{1}{2}(\dot{V}_a + j\dot{V}_b) = \dot{V}_1 - j\frac{\dot{E}_b}{2} \tag{2}$$

$$\dot{V}_{a2} = \frac{1}{2}(\dot{V}_a - j\dot{V}_b) = \frac{1}{2} j\dot{E}_b$$

여기서,

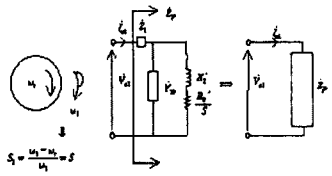
$\dot{V}_1 = \frac{1}{2}(\dot{V}_A + j\dot{V}_B) = \dot{V}_A$: 인가전압의 정상분

$$\dot{I}_{a1} = \frac{1}{2}(\dot{I}_a + j\dot{I}_b) = \frac{1}{2}\dot{I}_a \tag{3}$$

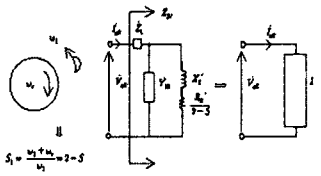
$$\dot{I}_{a2} = \frac{1}{2}(\dot{I}_a - j\dot{I}_b) = \frac{1}{2}\dot{I}_a$$

여기서, $\dot{I}_b = 0$

이러한 2상 전동기의 정상분과 역상분 등가회로는 정상분 스립 S_1을 S로, 역상분 스립 S_2를 정상분 스립의 함수로 나타내어 표시하면 그림 2와 같다.



(a) 정상분 등가회로



(b) 역상분 등가회로

그림 2. 정상과 역상분 등가회로
Fig. 2. Equivalent circuit of positive and negative phase component

그림 2와 같이 2상 유도전동기의 정상분 임피던스와 역상분 임피던스를 각각 Z_P, Z_N라 하고 정상분 전압 V_{a1}와 역상분 전압 V_{a2}를 Z_P와 Z_N로 나타내면 식 (4), (5)와 같다.

$$V_{a1} = Z_P I_{a1} = \frac{Z_P}{2} I_a \quad (4)$$

$$V_{a2} = Z_N I_{a2} = \frac{Z_N}{2} I_a$$

여기서, $I_{a1} = \frac{1}{2} I_a$

식 (4)와 같은 대칭분을 사용하여 2상 전동기에서 전원에 접속된 A 상의 전압 V_a를 대칭분 전압으로 나타내면 식 (5)와 같이 정상분 전압 V_{a1}과 역상분 전압 V_{a2}를 직렬로 합성한 것과 같다.

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} = \frac{1}{2} Z_P I_a + \frac{1}{2} Z_N I_a \quad (5)$$

단상 유도전동기는 그림 1과 같이 2상 유도전동기의 한상만 전원에 접속된 것과 같으므로 식 (5)에서 전압 $V_a(=V_A)$와 I_a를 단상 유도전동기의 것 즉, $V_a = V_A = V_1$와 $I_a = I$ 로 대치하여 식 (5)를 회로화한 그림 3이 단상 유도전동기의 등가회로가 된다.

본 논문에서는 이와 같은 콘덴서 구동형 단상유도전동기의 주권선부분만을 취하여 순단상유도전동기의 정상상태로 가정하고, 전동기의 크기가 커질때 여자 인덕턴스의 크기도 비례하며, 다른 정수들은 변화가 없다는 전제하에 제안한 기법을 적용하기로 한다. 그림 3의 단상의 경우를 철손 저항을 입력측으로 이동하여 세부 등가회로를 도시하면 다음 그림 4와 같다.

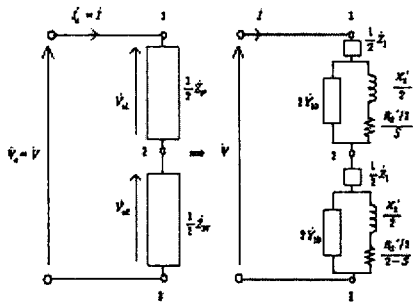
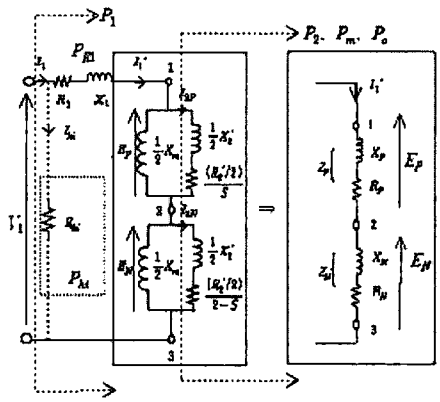


그림 3. 단상의 경우의 등가회로
Fig. 3. Equivalent circuit of single phase induction motor



〈철손회로〉〈출력회로〉〈출력부의 등가회로〉

그림 4. 단상 유도전동기의 등가 회로
Fig. 4. Equivalent circuit of SIM

3. 단상유도전동기 정수산출 실험

정수 측정용 콘덴서 구동형 단상유도기 (SPG 8125DB)와 측정된 값을 처리할 정수 산출 실험과 프로그램에 대하여 나타내면 다음과 같다.

3.1 정수 측정용 단상 유도전동기

정수 측정용 단상유도전동기(SPG모터 S8125DB)의 특성 곡선은 다음과 같다.

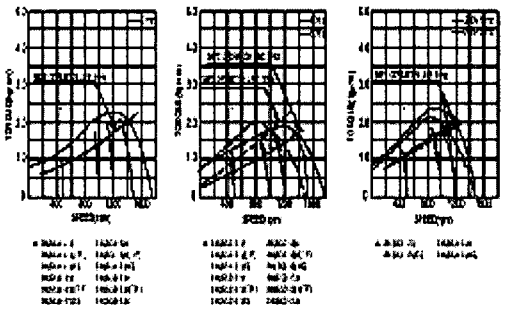


그림 5. 단상 유도전동기의 특성 곡선
Fig. 5. Characteristics curve of SIM

정수 측정 실험용 단상유도전동기 제원을 나타내면 다음 표와 같다.

표 1. 정수 측정 실험용 단상유도전동기 제원
Table 1. Specification of the analysis SIM (SPG Motors S8125DB)

세부항목	치 수
정격 출력	25[W]
정격 회전수	1550[rpm]
컨덴서	2.5[uF](450[V] AC 50/60[Hz])
주권선저항	117[Ω]
보조권선 저항	215[Ω]

상기 서술한 정수 측정용 전동기의 실험장치를 사진으로 나타내면 다음과 같다.

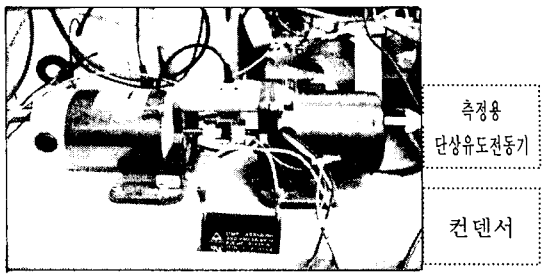


그림 6. 단상 유도전동기의 실험장치
Fig. 6. Experimental Set of SIM

3.2 정수 측정 실험

정수값을 측정하기 위한 측정장치를 사진으로 나타내면 다음과 같다.

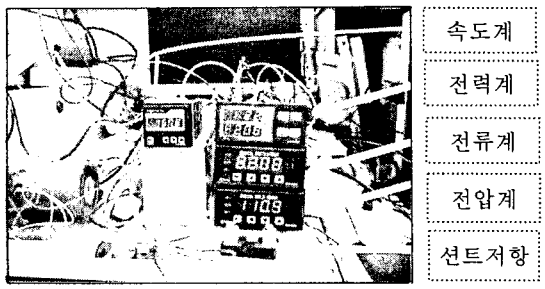
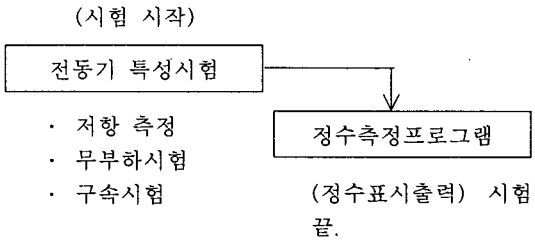


그림 7. 단상유도전동기의 정수 측정 장치
Fig. 7. Photograph of parameter measurement

3.3 정수 산출 매트랩 프로그램

제안된 산출 방법으로 단상유도전동기의 등가회로 정수를 산출하는 과정을 블록선도로 나타내면 다음과 같다.



상기 블록선도의 프로그램을 참고문헌 [4]의 방법으로 구한 매트랩 프로그램은 다음과 같다.

```
clear all
close all
% Motor Parameter Calculation
Temperature=26.7;
IIP=1./32;
PmR=746.*IIP;
Phi=0.25.*PmR;
rpm=1745;
S=(1800-rpm)./1800;
V1=220;
f=60;
R1=120.1;          % R  Test ?  %1
Penl=67;           % Penl  Test ?
Inl=0.317;         % Inl  Test ?
Vnl=221.1;         % Vnl  Test ?
Pelr=18;           % Pelr  Test ?
Ilr=0.219;         % Ilr  Test ?
Vlr=75.9;          % Vlr  Test ?
% 실험으로 측정된 정수 입력부분
```

(a) 측정된 실험 데이터 입력 부분

```
R1=abs(R1); %계산된 1차저항(R1)의 표시
R2=abs(R2);
X1=abs(X1);
X2=abs(X2);
Xm=abs(Xm);
r1=abs(R1/2);
x1=abs(X1/2);
r2=abs(R2/2);
x2=abs(X2/2);
xm=abs(Xm/2);
```

(b) 계산한 모터 정수 출력 부분

```
Xlr=sqrt(((Vlr*Ilr)^2-Pelr^2)/Ilr^2);
X1=Xlr/2;          X2=Xlr/2;
% 참고문헌[4]의 방법을 따름.
X1=X1/2;
Xo=sqrt(((Vnl*Inl)^2)-Penl^2)/Inl^2;
Xm=2*Xo-3*X2;
Rlr=Pelr/Ilr^2;
R2=(Rlr-R1)*((X2+Xm)/Xm)^2;
L1=abs(X1./(2.*pi.*f));
L2=abs(X2./(2.*pi.*f));
Lm=abs(Xm./(2.*pi.*f));
Lo=abs(Xo./(2.*pi.*f));
Rhi=(V1.*V1)./Phi;
Rnl_d=(4.*R1+R2)./4;
Xnl_d=(2.*X1+Xm+X2)./2;
Znl_d=Rnl_d+j.*Xnl_d;
Znl=(Rhi.*Znl_d)/(Rhi+Znl_d);
Rlr_d1=R1+j.*X1+j.*Xm;
Rlr_d2=R2+j.*X2;
Zlr_d=(Rlr_d1.*Rlr_d2)./(Rlr_d1+Rlr_d2);
Zlr=(Rhi.*Zlr_d)./(Rhi+Zlr_d);
aZlr=abs(Zlr);
```

(c) 데이터 계산 부분

그림 8. 정수 산출과정의 프로그램
Fig. 8. Program of Parameter calculation

4. 실험 결과 분석

상기와 같이 제안한 산출기법으로 단상유도전동기의 등가회로 정수를 주어진 전동기로부터 실측 방법을 이용하여 전동기의 등가회로 정수를 실험하여 얻은 결과는 다음과 같다.

4.1 등가회로 정수 산출을 위한 실험 결과

제안한 산출기법을 적용하기 위한 모터는 220[V], 25[W], 4극, 60[C/S] 의 단상 유도전동기로부터 110[V]에서 실험후 얻은 결과는 다음과 같다.

○ 고정자 권선의 저항 측정 : 117.6[Ω], (19.8[℃])

○ 무부하 시험 결과 : 주파수 59.96[Hz]
전압 110[V], 전류 204.61[mA], 입력 21.64[W]

○ 구속시험 결과: 주파수 59.989[Hz]
전압 70.37[V], 전류 206.56[mA], 입력 14.27[W]

4.2 측정된 데이터로부터 모터 정수 산출 결과

상기 단상유도전동기의 측정 시험결과 얻은 데이터를 제안한 산출 방법으로 구한 결과를 표 2에 정리하면 다음과 같다.

표 2. 전동기 정수 산출 결과(25[W])
Table 2. Parameter Determination of SIM(25[W])

(주권선) 전동기 정수				
R1=	X1=	R2=	X2=	Xo=
117.6000	122.5835	396.3763	122.5835	394.2481
(보조권선) 전동기 정수				
R1=	X1=	R2=	X2=	Xo=
215.0000	122.5835	71.5317	122.5835	394.2481

상기와 같이 얻어진 단상 유도전동기 정수를 검증하기위하여 실험 결과와 매트랩 시뮬레이션 결과를 비교하면 다음과 같다[5].

그림 9의 상부 첫째 파형 주권선전류는 5[A] 50[mV]용 션트저항으로 전압으로 간접측정 결과 그림 10의 무부하 실험과 대체로 일치하며, 주어진 입력 주파수 60[Hz]에 대하여 비교적 일치하였다.

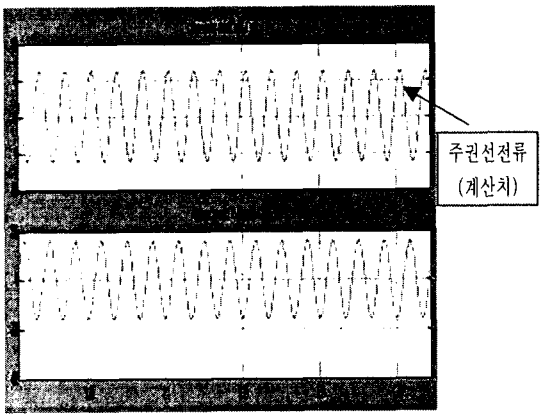


그림 9. 주권선전류의 시뮬레이션(위)
Fig. 9. Simulation of Main Current

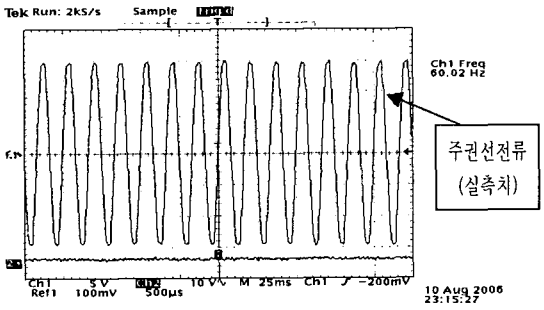


그림 10. 권선전류 실험결과 파형
Fig. 10. Waveform of Main Current

5. 결 론

본 논문에서는 단상유도전동기(25[W])에서 무부하시험, 구속시험, 그리고 고정자 권선의 저항 측정 시험을 시행하고 모터정수 산출용 계산프로그램을 이용하여 단상유도전동기의 내부 등가회로 정수를 산출하는 방법을 제안하고 시행하였다.

제안된 산출 방법은 전동기가 분리된 상태에서 무부하 시험, 구속시험과 권선 저항을 직접 측정하여 얻을 수 있으므로 비교적 정확한 정수 산출에는 유리하나, 전동기가 부하와 결합된 상태에서는 제안된 방법과 기존의 제시된 간접 측정 방법을 병행하면 좀더 정확한 전동기 정수의 산출이 가능할 것으로 사료된다.

References

[1] 강규홍, 하경호, 홍정표, 김규택, 정승규, "등가회로법과 수치해석의 결합에 의한 콘덴서 구동형 단상 유도전동기의 회로정수 산정및 특성 해석" 전기학회 논문지, Vol.49-B No.11, 2000.
[2] 원종수, "콘덴서 런 단상유도전동기의 설계적 고찰 보조권선 및 콘덴서 용량치의 선정", 전기학회지, 02 v.31, n.2, pp.132-140 1013-0772, 1982.
[3] 오긍렬, "순단상유도전동기의 등가회로와 도식적 특성산정법 및 정수결정에 의한 특성산정법" 전기학회지 , 01 v.22, n.1, pp.42-51 1013-0772, 1973.
[4] E.R. Collins, P.B.Boyd, "Improvement Methods for Determining the Equivalent Circuit Parameters for Single-Phase Induction Models", IEEE, 1993.
[5] 유재성, 신수철, 윤주만, 원충연, 김상훈, "퍼지 제어기를 이용한 악계자 영역에서 스핀들 유도전동기의 속도제어 개선", KIIEE, Vol.19, No. 8, Dec. 2005.

◇ 저자소개 ◇

이병선 (李秉善)
1958년 8월 5일생. 1985년 2월 서울산업대학 전자 공학사. 1992년 3월 건국대학교 전자공학과 졸업(석사). 2000년 2월 단국대학교 졸업(박사). 1994~1997년 경북전문대학 전자과 전임강사. 1997년~현재 김포대학 전기전자계열 조교수.

김양호 (金養鎬)
1996년 6월 14일생. 1991년 단국대학교 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 박사과정 수료. 현재 경원전문대학 전자정보과 겸임교수. 한영전기공업(주) 기술연구소장.