

A Study on the Dynamic characteristics of Asymmetrical Induction Machines

Su Ho Yu Ill Chun Lee Young Moon Hwang
Pusan National University

Abstract

In this paper, the dynamic characteristics of asymmetrical two-phase induction motors are investigated for improving its dynamic performances. The equations which describe the dynamic performance of asymmetrical two-phase induction motors are established and analyzed dynamic characteristics by digital computer simulation. The differential equation is solved by the algorithm of predictor-corrector method. The effects due to machine parameters are analyzed.

1. 서 론

단상유도전동기는 3상 유도전동기에 비하여 기동토크가 작으며 운전역률 및 효율이 낮고 진동토크가 큰 것이 결점이다. 이러한 단점을 개선하고 실용성을 향상시키기 위한 연구의 일환으로 단상유도기의 과도토크 특성을 해석할 필요가 있다.

본 연구에서는 비대칭 2상유도기의 과도토크 특성을 해석하기 위해 이것의 일반화된 동특성방정식을 유도하고, 이것에서 수치해석법을 이용하여 미분방정식을 풀이하여 비대칭 2상유도기의 동특성을 해석한다. 즉, 이 전동기에 대하여 완전한 자유가속특성을 분석하고, 이것으로 부터 각 비대칭 성분에 대한 과도토크 특성의 영향을 분석하여 각 비대칭 요소가 동특성에 미치는 영향을 해석하고자 한다. 또한 영구 콘덴서형 단상유도기에 대한 토크 특성도 살펴보았다.

2. 비대칭 자계구조에 대한 토크 특성 해석

대칭 2상유도기의 고정자에서 발생하는 회전자계는 원형이다. 즉, 2상 전원으로 부터 대칭전동기의 회전자계가 여자되는데 필요한 요건은, 두 상권선은 전기적인 각도로 $\pi/2$ 만큼 떨어져 있어야 하고 2상 교류전원은 같은 크기고 시간적으로 $\pi/2$ 만큼 위상차가 있어야 한다. 따라서 비대칭의 경우는 전동기 자체에서 원형의 회전자계를 만들어 주지 못하는 경우와 외부전원으로 인해 원형의 회전자계를 만들어 주지 못하는 경우로 나눌 수 있다. 즉, 방향성 철심을 사용하거나 이형철심(異形鐵心)을 이용하는 경우, 그리고 단상전원을 이용하는 경우를 들 수 있다. 회전자에 대해서도 마찬가지로 회전자의 저항이나 자화비역특스가 다른 경우 등이 비대칭의 경우이다.

2-1 회전자에 의해 발생하는 자속

순단상유도전동기의 고정자권선에 의해 발생하는 자속은 정지한 맥동자계성분만 존재한다. 회전자가 회전을 하게되면 회전자의 각도체는 고정자의 자속을 끊임으로서 속도전압을 유기하고, 이 전압은 고정자의 자속과 동상이며, 이로 인해 흐르는 전류는 이 회로의 임피던스의 대부분이 리액턴스 성분이므로 권압보다 90° 늦게 흐르게 되고, 고정자 자속의 직각방향으로 교차자계(cross field)를 발생시킨다. 따라서 회전자가 회전하면 회전자계가 형성되고 토크를 발생시킨다.

그림 1과 같이 고정자에 주권선 이외의 분상권선이 있을 때 주권선과 분상권선에 흐르는 전류의 위상을 조절하여 회전자속성분을 만들어 줄 수 있다.

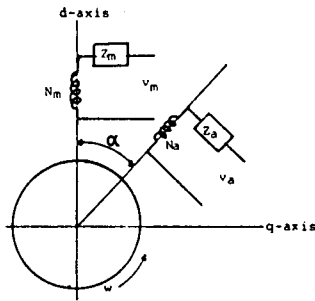


그림 1. 권선의 배치도

2-2. 동특성 방정식

주권선과 분상권선 사이의 각도 α , 그리고 각각 권선의 임피던스를 Z_m, Z_a 라 하고 권선수를 N_m, N_a 라 할 때 권선의 배치는 그림 1과 같다. 이로부터 고차 자계이론에 근거하여 직축과 횡축성분으로 나누고 이를 고정자의 한 권선으로 모든 양을 환산한다. 즉, 유도된 전압방정식을 L_i 의 항으로 나타낸 식(1)과 같다. 여기서 회전자는 농형이고 변수의 위상변점차(')는 하나의 고정자권선으로 환산한 값을 나타내고 p 는 미분연산자 ($\frac{d}{dt}$)이다.

ψ_m	$R_m + (L_m + L_a)p$	$(L_m \cos \alpha + L_d \cos \alpha)p$	$L_d q$	0	i_m
ψ_a'	$(L_m \cos \alpha + L_d \cos \alpha)p$	$\frac{R_a}{s} + (\frac{L_a}{s} + L_m + L_d \cos^2 \alpha + L_q \sin^2 \alpha)p$	$L_d \cos \alpha \cdot p$	$L_q \sin \alpha \cdot p$	i_a'
0	$L_d p$	$-\omega L_q \sin \alpha + (L_d \cos \alpha)p$	$R_s + (L_d + L_q)p$	$-\omega(L_d + L_q)$	i_R^d
0	ωL_d	$\omega L_d \cos \alpha + (L_q \sin \alpha)p$	$\omega(L_d + L_q)$	$R_s + (L_d + L_q)p$	i_R^q

또한 식(1)의 전압식을 쇄고자속의 항으로 나타내고, 이를 가상변위이론으로 부터 토오르크를 구하면 식(2)와 같다.

$$T = \frac{P}{2} \left\{ \frac{N_m}{N_A} [L_d i_m + L_q \cos \alpha i_a' + (L_d + L_q) i_R^d] i_m' - \frac{N_a}{N_m} [L_q \sin \alpha i_a' + (L_d + L_q) i_R^q] i_m' \right\} \dots (2)$$

전동기의 자유가속도 특성을 구하기 위하여, 속도와 토오르크와의 관계식을 나타내면 다음과 같다.²⁾³⁾

$$T^r = J_p \omega^r + D \omega^r - T \dots (3)$$

여기서 ω^r 은 회전자의 회전각속도이며 T^r 은 외부토포르크, 그리고 J, D 는 각각 관성모우먼트와 마찰계수이다. 또한, 식(1)은 다음과 같은 형태로 쓸 수 있다.

$$[v] = [R][i] + [Z][p \cdot i] \dots (4)$$

따라서 식(1)과 식(4)로 부터

$$[p \cdot i] = [Z]^{-1}[v] - [Z]^{-1}[R][i] \dots (5)$$

$$p \omega^r = \frac{T^r}{J} + \frac{T}{J} - \frac{D}{J} \omega^r \dots (6)$$

식(5), 식(6)에서 predictor-corrector method를 이용하여 이 방정식의 해를 구한다.^{4) 5)}

3. 자유가속도 특성분석

비대칭유도전동기의 토오르크 특성분석을 위하여, 먼저 대칭조건을 만족한 전동기의 특성에 대하여 토오르크특성을 살펴보면 그림 2와 같다.

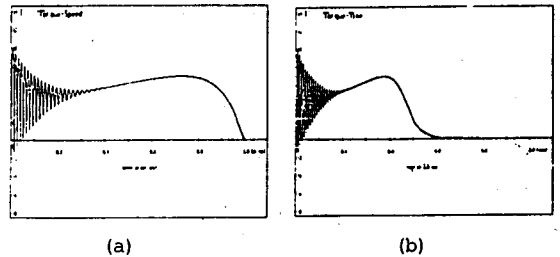
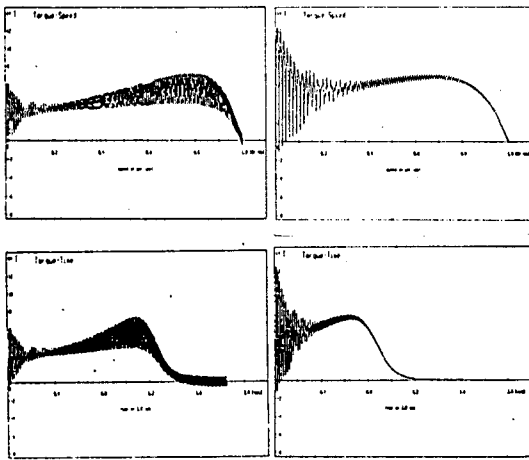


그림 2. 대칭전동기의 자유가속도 특성

즉, 그림 2는 대칭 2상유도전동기의 자유가속도 특성을 나타낸다. 이때 전동기를 처음 0.5초간 구속한 뒤 자유가속도 특성을 조사하면 속도의 전 구간에서 토오르크는 맥동하지 않고 값이 일정한 값을 갖게된다. 이에 비하여 이 전동기에서 회전자나 고정자의 저항성분으로 인한 비대칭 효과가 토오르크에 미치는 영향에 대하여 그림 3에 나타내었다.

이 그림에서 전동기에 전원을 인가한 다음 처음 약 0.2초간은 전원 주파수와 거의 같은 진동수의 맥동토오르크를 갖고 그 다음 부터는 전원주파수의 2배 진동수의 맥동토오르크를 갖게 된다. 고정자 저항이 불평형일 때 맥동토오르크는 0.8p.u 속도 근처에서 최대값을 갖고, 회전자 저항이 불평형일 때에는 기동시 큰 맥동토오르크를 갖고 속도가 증가할수록 점차 감소한다. 그림 4에는 고정자의 인가전압이 불평형일 경우와 이때 회전자의 저항이 불평

형일 경우의 자유 가속도 특성을 나타낸다.



(a) (b)

그림3. 비대칭 전동기의 자유 가속도 특성

(a) 고정자 저항이 비대칭인 경우

(b) 회전자 저항이 비대칭인 경우

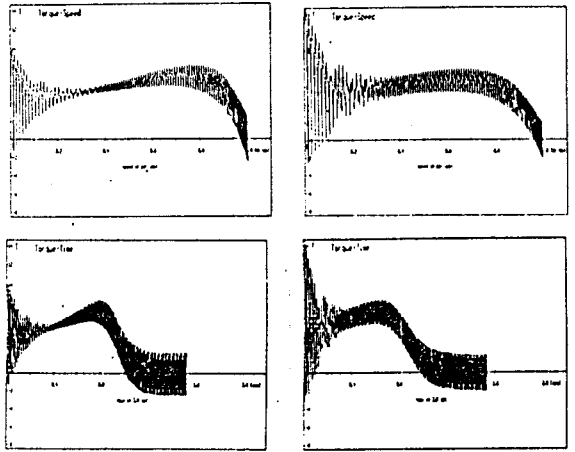
주 고정자 전압이 비대칭일 경우에는 속도가 증가할수록 맥동보오르는 커지게 된다. 그리고 고정자의 전압과 회전자와 저항이 비대칭일 경우는 각각 비대칭특성에 대한 요소를 포함하는 형태로 나타난다.

4. 비대칭 전동기 정수에 대한 토오크 특성

비대칭 전동기, 특히 영구본덴서형 단상유도전동기에 대하여, 전동기의 특성에 큰 영향을 주는 정수는 d,q 축에 대한 자화리액턴스 성분, 2차 저항성분, 그리고 권선의 배치각등을 들 수 있고 외부전원조건으로서 본덴서의 용량등을 들 수 있다. 이에 대하여 그림 5는 각 전동기 정수에 대한 토오크의 특성을 나타낸다.

표. 1 각 전동기 정수와 토오크 특성

전동기정수	일정 토오크	맥동 토오크
자화리액턴스	<ul style="list-style-type: none"> * 자화 리액턴스가 커질수록 일정 토오크는 커진다. * 자화리액턴스가 클수록 최대토오크는 커진다. 	<ul style="list-style-type: none"> * 동기속도 근처에서 자화리액턴스가 클수록 맥동토오크는 커진다. * 0.8-0.9p.u속도에서 맥동토오크는 줄어든다.
2차저항성분	<ul style="list-style-type: none"> * 기동특성상 저항이 클수록 좋다. * 최대토오크는 저항이 증가할수록 감소한다. * 토크특성은 저항이 클수록 나쁘다. 	<ul style="list-style-type: none"> * 0.4pu속도까지는 저항의 영향이 거의 없다. * 0.4-0.9p.u속도까지는 저항이 작을수록 맥동토오크는 커진다.
권선의배치각	<ul style="list-style-type: none"> * 45-105° 배치각도가 증가할수록 일정토오크는 커진다. * 105-120° 부근에서 최대토오크가 생긴다. * 120° 이상에서 일정토오크는 다시 커야한다. 	<ul style="list-style-type: none"> * 0.4p.u속도까지는 권선의 배치각과는 거의 무관하다. * 0.4-0.9p.u속도에서는 권선의 배치각이 작을수록 맥동토오크는 커진다. * 0.9p.u속도 이상에서 권선의 배치각이 작을수록 맥동토오크는 작아진다.
본덴서의용량	<ul style="list-style-type: none"> * 본덴서의 용량이 클수록 기동 토오크는 커진다. * 정상운전시에는 본덴서의 용량이 클수록 토오크는 작아진다. * 본덴서의 용량이 클수록 최대 토오크는 커지나 권력의 수배 이상이 되면 다시 작아진다. 	<ul style="list-style-type: none"> * 본덴서의 용량이 클수록 맥동토오크도 커진다. * 본덴서의 용량이 적을지 부근에서는 0.8-0.9p.u속도에서 맥동토오크가 작아진다.



(a) (b)

그림 4. 비대칭 전동기의 자유 가속도 특성

(a) 고정자 전압 비대칭

(b) 고정자 전압과 회전자저항 비대칭

여기서 사용된 전동기는 아태표. 2와 같다.

표. 2 1/4-HP 110 volt 60 c/s 2-pole motor

주권선	$R_{1m} = 2.02$ $L_{11m} = 0.1772$ $R_{2m} = 4.12$ $L_{12m} = 0.00740$ $L_{2m} = 0.00562$
보조권선	$R_{1a} = 7.14$ $L_{11a} = 0.2464$ $R_{2a} = 4.12$ $L_{12a} = 0.00854$ $N_a/N_m = 1$ $L_{2a} = 0.00562$ capacitor = 60 μF

5. 결 론

비대칭 유도전동기의 과도상태에 대한 토오크의 특성을 해석하기 위하여 동특성 전압방정식을 유도하고, 이로부터 수치해석법을 이용하여 미분방정식을 풀이하고 시물레이션하였다. 그리고, 이에대한 자유 가속도 특성을 해석하였고, 특히 본덴서형 단상유도전동기에 대한 과도 토오크의 특성을 해석 하였으며 그 결과는 표. 1과 같다.

참 고 문 헌

1. C.G.Veinott, Theory and Design of Small Induction Motors, McGraw-Hill, pp.153-444, 1959.
2. P.C.Krause and C.H.Thomas. "Simulation of Symmetrical Induction Machinery, " IEEE Trans. PAS, Vol.PAS-84, pp.1038-1053, Nov. 1965.

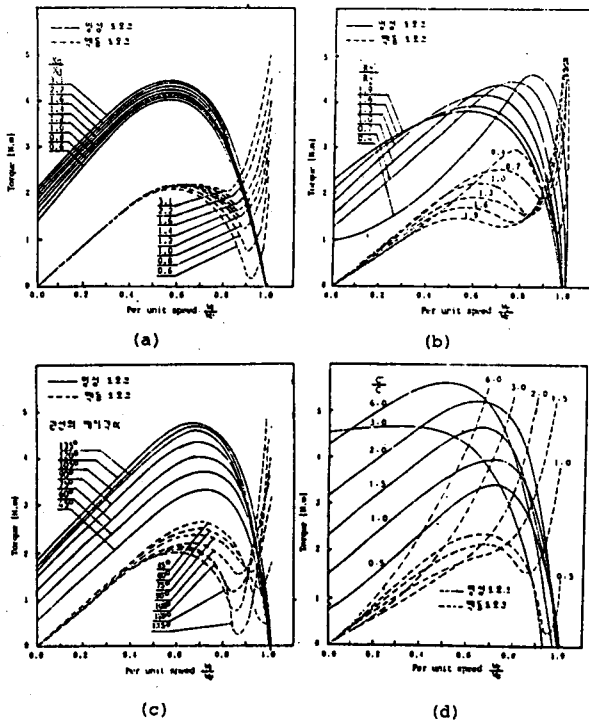


그림 5. 전동기정수에 대한 토오크 특성
 (a) 자화미역전 (b) 2차저항
 (c) 권선의 배치 (d) 콘센서의 용량

3. P.C.Krause, "Simulation of Unsymmetrical 2-Phase Induction Machines", IEEE Trans. on PAS, Vol.PAS-84, pp.1028-1037, Nov. 1965.
4. H.E.Jordan, "Digital Computer Analysis of Induction Machines in Dynamic Systems", IEEE Trans.PAS Vol.PAS-86, No.6, pp.722-728, Jun.1967.
5. L.F.Wiederholt, A.F.Fath, and H.J.W rtz, "Motor Transient Analysis on a Small Digital Computer", IEEE Trans. PAS, Vol.PAS-86, No.7, pp.819-824, Jul.1967.
6. D.D.Hershberger and J.L.Oldenkamp, "A Single-phase Induction Motor with one Distributed Winding", IEEE Trans. PAS, Vol. PAS-87, No.10, pp.1862-1866 Oct. 1968