

非對稱性概念을 고려한 單相電源用誘導電動機의 特性解析에 관한 研究

李 一 千* 金 喆 禹 黃 煥 文

(Il-Chun Lee, Chul-Woo Kim, Young-Moon Hwang)

부 산 대 학 교

A Study on the Performance Analysis of Single-Phase Induction Motor Considering Asymmetrical Concept

Abstract

In this paper, while 2-or 3-phase induction motor is driven with balance and no noise driving at dynamic and steady state condition. Single-phase induction motor is driven with pulsating torque except specific driving point. So we analyze the reason of producing pulsating torque with the view of unsymmetring concept.

These results are applied to the design of high efficiency, high quality single-phase induction motor.

第 1 章 序 論

최근 전동력응용기술이 Mechatronics화 하는 추세에 있다. 전동기의 Computer제어로 일컬어지는 이러한 기술은 전동기구의 구동회로 및 제어회로의 기능을 괄목할 만한 발전을 이루게 하였으나 전동기구자체의 진보는 그 추세에 따라가지 못하고 있다. 이는 전동토크발생원리가 주로 기자력의 활용성에 의존하여 에너지변환이 다른 것에 비하여 월등하게 실용적이어서 아직 이에 대신 할 전동기구가 개발되지 못한데 기인한다. 그러나 가정용기구의 전동력화의 추세에 따라 그 수요가 폭발적으로 증가하고 있으며 고효율 저소음의 품질이 높은 특성의 것이 요구되고 있다.

본 연구에서는 단상전원용 유도전동기는 특정동작점을 제외하고는 전동토크를 유발하는 원천적인 제특성을 비대칭성 개념에 입각하여 해석하고자 한다.

제 2장 非對稱性的 行列解析法과 電動機定數의 標準化

2-1. 비대칭2상유도전동기에서의 특성방정식

단상전원용유도전동기의 비대칭을 해석하기 위하여 임의의 배치각을 갖는 비대칭2권선이며 비대칭자기구조의 고정자와 평형권선농회전자를 갖는 전동기구의 구성도를 나타내면 그림 1과 같다.

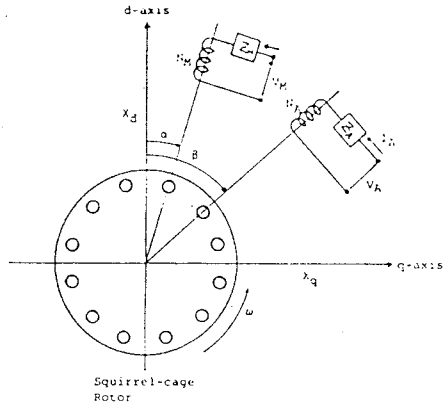


그림 1, 비대칭2상유도기의 구성도

미분형전압방정식을 유도하면 식 (2-1)과 같다.

$$\begin{bmatrix}
 U_n \\
 U_A \\
 0 \\
 0
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 R_n + (L_{n1} + L_{n2}) \left[\frac{L_{m1} \cos(\beta - \alpha)}{L_d \cos^2 \alpha} + L_d \cos^2 \alpha + L_g \sin^2 \alpha \right] P & L_d \cos \alpha \cos \beta & L_d \cos \alpha \cdot P & L_g \cdot \sin \alpha \cdot P \\
 \left[\frac{L_{m1} \cos(\beta - \alpha)}{L_d \cos^2 \alpha} + L_d \cos \alpha \cos \beta + L_g \sin \alpha \sin \beta \right] P & \frac{R_A}{a^2} + \left(\frac{L_A}{a^2} + L_{m1} + L_d \cos^2 \beta \right) P & L_d \cos \beta \cdot P & L_g \cdot \sin \beta \cdot P \\
 -\omega_r L_g \sin \alpha & -\omega_r L_g \sin \beta & R_R & -\omega_r (L_{g2} + L_g) \\
 \omega_r L_d \cos \alpha & \omega_r L_d \cos \beta & \omega_r (L_{k2} + L_d) & R_R + (L_{g2} + L_g) P
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \dot{I}_n \\
 \dot{I}_A \\
 \dot{I}_R' \\
 \dot{I}_R''
 \end{bmatrix}
 \quad (2-1)$$

전동기의 기계적출력은 속도-토크특성에 의하여 결정된다. 그리고 전동기의 치수는 주로 여자리액턴스, $X_0 (= X_m + X_c)$ 와 인가전압에 의하여 결정된다. 그리하여 인가전압과 여자리액턴스에 대하여 표준화, 즉 per unit화시키면, 전동기가 소형이든 대형이든간에 일정한 정상특성 및 속도 특성을 갖는다. 즉, 전동기의 각 정수를 자화리액턴스 $X_m (= \omega_s M_m = \omega_s L_d)$ 에 대한 비로 표준화하면 식 (2-3)과 같다.

$$\begin{aligned} R_s/X_m &= 0.02 - 0.04 & X_m'/X_m &= 0.03 - 0.05 \\ R_r/X_m &= 0.04 - 0.10 & X_r/X_m &= 0.03 - 0.05 \end{aligned}$$

제 3 장 非對稱性에 대한 電算解析

3-1. 해석방법

동특성해석을 위해 predictor-corrector법을 적용하여 식 (2-1)에서의 i_{rp} , $a i_a$, i_{rb} , i_{rb} 및 ω_r 의 5개의 변수 각각에 대하여 행한다. 그리하여 식 (2-1)을 식 (3-1)과 같이 변환한다.

$$[v] = \{ [R] + \omega_r [G] \} [I] + [Z] [PI] \dots (3-1)$$

재정리하면

$$[PI] = [Z]^{-1} [v] - [Z]^{-1} \{ [R] + \omega_r [G] \} [I] \dots (3-2)$$

그리고, 이때 動特性方程式은

$$P \omega_r = \frac{T_r}{J} + \frac{P}{2J} \{ [I]^{-1} [G] [I] \} - \frac{D}{J} \omega_r \dots (3-3)$$

여기서, T_r ; 외부부하토크, P ; 극수,
 J ; inertia moment, D ; 마찰계수이다.

이때, 인가전압은 주권선전압을 per unit전압으로, 각 항의 전동기의 정수는 표준화한 값을 대입하여 산정한다.

3-2. 영구커패시터전동기에서의 해석결과

특성해석결과에 의하면, 비대칭전원용전동기에서는 권선비 권선배치각 및 비대칭자기구조를 가져야만 효과적인 특성을 갖게 됨을 알수 있었다.

(1) 평형운전조건의 조정특성

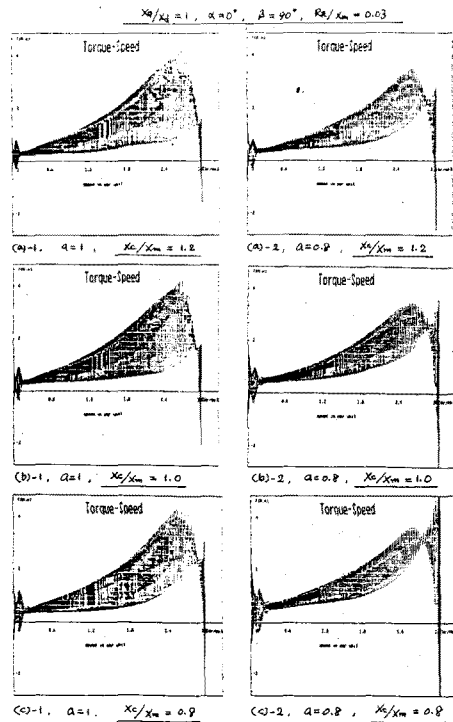


그림 3-1, X_c 및 a 의 조정에 의한 평형운전점의 조정

(2) 비대칭전동기에서의 해석결과

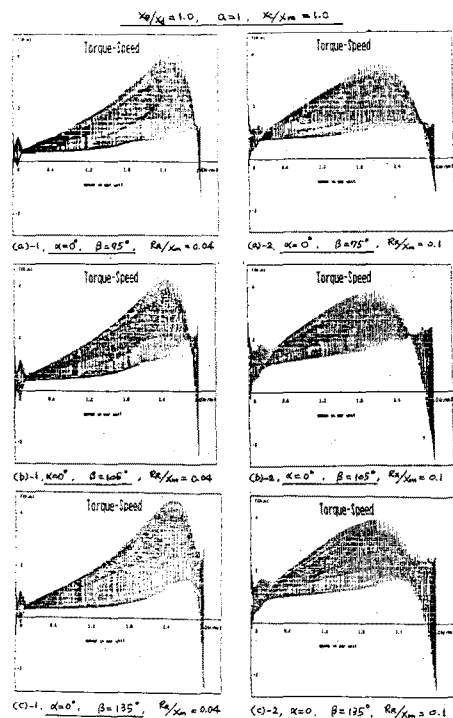


그림 3-2, 비대칭축전동기에서의 토크-속도특성곡선

(3) 비대칭자기구조를 가진 전동기에 대한 특성

제 4 장 非對稱性電動機構의 設計例

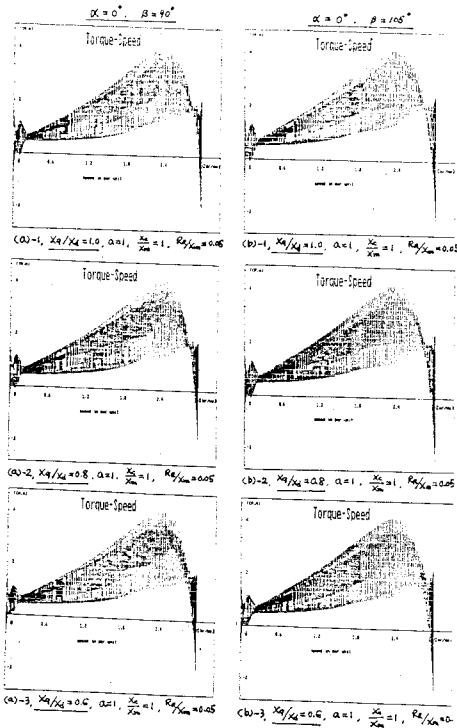


그림 3-3, 비대칭성자기구조를 가진 전동기에서의 토크 특성 (a) 대칭축권선 (b) 비대칭축권선

4-1. 電動機의 磁氣回路의 非對稱化

(A) 固定子鐵心の 設計

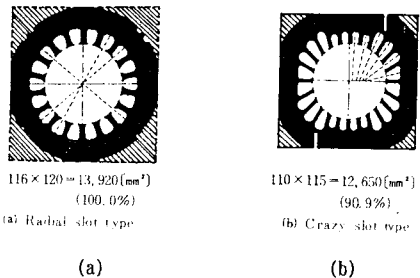


그림 4-1, 단상유도전동기의 고정자편칭 (a) 방사형 (b)이형

非對稱性철심구조를 이용한 非對稱전동기의 설계조건

- (1) 주권선축에서의 자속분포를 최대자속축과 일치
- (2) 주권선의 코일분포 - 정현파분포권선
- (3) 고정자의 yoke에 슬릿slot을 설치 - 非對稱角 α 의 효과 및 X_q/X_d 의 조정

(B) 非對稱磁化리액턴스의 算定

$$X_m = \frac{0.5 \cdot \pi \cdot S}{P} (Ck\omega)^2 \frac{A_g}{g \cdot F_g} \times 10^{-6} \text{ [ohm]} \dots (4-1)$$

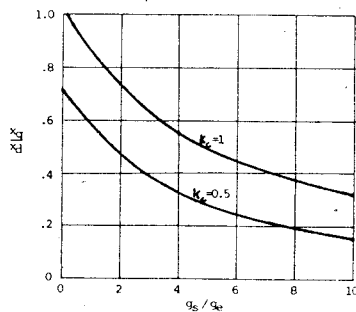


그림 4-2, yoke slot과 기자력에 대한 자화리액턴스의 비

그림 4-2는 yoke slot의 길이 g_s 의 영향과 X_q/X_d 에 대한 효과를 나타내는 곡선이다. 여기서 K_c 는 Karter 계수이다.

4-2 非對稱磁氣回路를 가진 電動機에 대한 適定設計

(A) 주권선설계정수

제 2장에서 표준화된 전동기설계정수범위에서 산정한다.

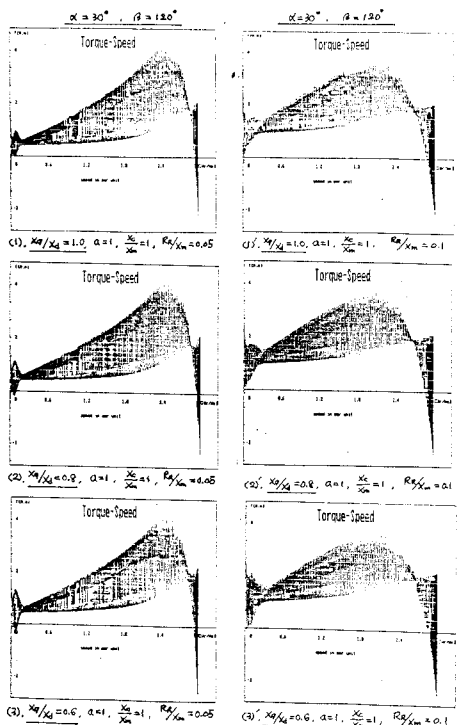


그림 3-4, 비대칭성자기구조의 전동기에서 토크특성

제 3장의 비대칭성해석에서 진동토크해석결과를 고려하여 평형운전조건 α 와 X_c 를 선정할 후, 보조권선 설계정수를 선정한다.

4-3 定常狀態特性에 대한 解析

(A) 定常型Matrix는

V_s	$\frac{R_s + j(X_{s1} + X_{s2}) + j X_{m1} \sin^2 \alpha + X_c \sin^2 \alpha}{s}$	$\frac{jX_{m1} \cos(\beta - \alpha) - j X_{c2} \cos \alpha \cos \beta + X_c \sin \alpha \sin \beta}{s}$	$jX_{c2} \cos \alpha$	$-X_c \sin \alpha$	I_{s1}
V_r	$\frac{jX_{m2} \cos(\beta - \alpha) - j X_{c1} \cos \alpha \cos \beta + X_c \sin \alpha \sin \beta}{s}$	$\frac{R_r/s^2 + j(X_{r1}/s^2 + X_{s2}) + j(X_{c1} \cos^2 \beta + X_c \sin^2 \beta) - jX_c/s^2}{s}$	$jX_{c1} \cos \beta$	$jX_c \sin \beta$	I_{r1}
0	$-(1-s) X_c \sin \alpha + j X_{c2} \cos \alpha$	$-(1-s) X_c \sin \beta + j X_{c1} \cos \beta$	$R_r + (X_{r1} + X_{c2}) + X_c$	$-(1-s) \cdot (X_{r1} + X_{c2})$	I_{r2}
0	$(1-s) X_{c1} \cos \alpha - j X_c \sin \alpha$	$(1-s) X_{c2} \cos \beta + j X_c \sin \beta$	$(1-s) \cdot (X_{r1} + X_{c2})$	$R_r + j(X_{r1} + X_{c2})$	I_{r3}

공시전동기 : 115 [V], 2 [극], 1/3 [hp]에 대하여

$$X_m = 61.5 \text{ [ohm]}$$

(B) 適定移相角에서의 非對稱電動機의 特性解析

제 3장의 해석에서 철심구조를 비대칭으로 할때, 주 권선 및 보조권선의 이상각은 $\alpha=30^\circ$, $\beta=120^\circ$ 일때 가장 양호한 특성을 얻었으므로 본 설계에서는 $\alpha=35^\circ$ 로 선정한다.

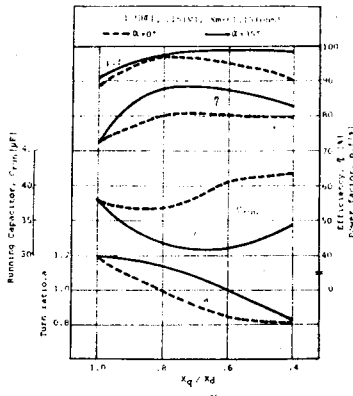


그림 4-3, 정격출력점에서 평형운전조건을 갖는 설계정수 및 동작특성-Xq/Xd

이상과 같이 適定設計定數를 검토한 바에 의하면,

- (1) 효율 및 역률은 이상각 α 가 존재할 때 향상된다 그리고, X_q/X_d 가 0.6~0.8일 때가 가장 좋다.
- (2) 卷線比는 X_q/X_d 가 1이 아닐 때 $q=1$ 에 가까워진다. 이는 卷線比 q 또한 起動力分布를 非對稱化하는 작용을 하므로, 철심이 非對稱化되면 권선은 對稱化방향으로 조정된다.

(3) 卷線比 q 는 효율 및 역률특성에 직접 영향을 미치게되는데 卷線比가 클수록 효율특성이 향상된다. 또한 이상각 α 가 $\alpha=35^\circ$ 일때가 그 조정범위가 적어지고 안정화된다.

(4) 격정직렬커패시턴스 C_{run} 은 X_q/X_d 를 非對稱化시키려면 그 값이 낮아지고, 동작특성에 주는 영향이 줄어든다.

(5) 결론적으로, 권선축은 자기축, 즉 直軸과 橫軸에 35° 내외의 값을 가질 때 X_q/X_d 를 非對稱化시킨 효과가 나타난다.

제 5 장 結 論

橢圓型回轉磁界를 갖는 非對稱回轉磁界電動機에서는 振動토크를 유발한다. 이러한 振動토크는 電動機의 效率를 나쁘게 하고, 電動機의 品質을 저하시킨다. 非對稱性電源을 공급하는 單相誘導電動機는 設計條件에 있어 非對稱性을 가장 많이 포함하는 電動機로서, 이에 대한 特性解析法과 設計方法을 非對稱性概念에 입각하여 검토하였다.

- (1) 固定子の 主卷線, 補助卷線 및 回轉子卷線의 定數를 磁化리액턴스, X_m 에 대하여 Per-unit하고, 이를 最適設計된 電動機의 設計定數를 중심으로 標準化하였다.
- (2) 標準化된 定數에서 適定設計定數 (R_m/X_m , R_1/X_m , X_{m12}/X_m , X_{s2}/X_m , 動作特性定數 (R_r/X_m) 및 非對稱性作用定數 (X_g/X_m , q , X_c/X_m , α , β)로 분류하고, 起動特性, 平衡運轉條件 및 振動토크特性에 대한 각定數의 作用效果를 解析하였다.
- (3) 解析方法으로는 微分方程式의 電算處理方法인 Predictor-corrector method를 이용하였으며, 適定設計條件은 速度-토크特性曲線에서 判定하도록 하였다
- (4) 解析結果로서는, 非對稱性電源을 供給하는 電動機에서는 電動機定數도 非對稱性을 갖어야만 適定設計 및 動作이 이루어진다는 것을 알수 있었으며, 이러한 非對稱性定數의 組合은 요구되는 動作特性에 따라 調整되어야 한다.

- (5) 이상의 解析方法의 結果를 활용하여, 非對稱性磁氣構造를 갖은 異型鐵心型誘導電動機에서 그 最適定數를 選定하여 高效率이고 高力率인 高品質의 單相電源用 誘導機의 實用性을 立證하였다.

Reference

- [1] N. Rama Rao, P.A.D. Jyothi Rao ; "Rerating Factors of Polyphase Induction Motors Under Unblanced Line Voltage Conditions"
- [2] C.S. Jha, S. S. Murthy;"Generalized rotating-field theory of wound-rotor induction machines having asymmetry in stator and/ or rotor windings " Proc. IEE, Vol. 120, No.8, pp. 867-873, 1973
- [3] P. Vas, J. Vas; "Transient and Steady-State Operation of Induction Motors with Stator Asymmetries" Archiv fur Elektrotechnik Vol.59, pp, 121-127,1977
- [4] K. Hayashi; "Expression of Single Phase Induction Motor with Three Star Windings not in Quadrature" JIEEJ. Vol. 80, No. 857, pp. 147-155, 1960
- [5] K. Kato; " On the Form of the Magnetic Field of a Single Phase Induction Motor vs. its Slip " JIEEJ. Vol. 91, No. 4, pp. 698-704, 1971
- [6] P. B. Trickey ; " Design of Capacitor Motor for Blanced Operation" Trans. AIEE, pp. 780-785, 1932
- [7] T. Yokozuka ; " Design of Condensor Motors for Balanced Operation " JIEEJ, Vol. 90, No. 10, pp. 2031-2040, 1970
- [8] T. Yokozuka;"On Unsymmetrical Capacitor Motors for Balanced Operation " JIEEJ, Vol. 98-B, No. 2, pp. 167-276, 1978
- [9] W. J. Morrill; "Harmonic Theory of Noise in Induction Motors" Trans.AIEE, Vol. 59, pp. 475-480,1940
- [10] J. Kibe, S. Mito, K. Kamimura; "Torque Characteristics of Single Phase Induction Motors " JIEEJ. Vol. 82, No. 881, pp. 190-199, 1962

외 34중 문헌