

3相誘導電動機의 單相運轉을 위한 커패시턴스의 決定

左 宗 根

A Determination Method of the Capacitance for the Single Phase Operation of a 3-Phase Induction Motor

Jwa Chong-keun

Summary

This paper discusses a method of determining suitable phase converter throughout the speed range using the criteria of minimum unbalance or minimum negative sequence voltage when a three phase induction motor operate with single phase supply. Three equivalent circuits are investigated to determine the capacitance, and it is found that Ishizaki's equivalent circuit is suitable.

序 論

3相誘導電動機의 單相運轉은 보통 定格出力 3.7Kw이하의 3相籠型誘導電動機에 한하고 이때 溫度가 上昇하고 最大出力이 減少하는 등의 理由로 定格出力으로 사용할 수 없다. 그러나 3相電源을 얻지 못하는 地域이나 特殊한 경우에는 相變換器를 사용하여 單相運轉이 불가피한 경우가 생기게 된다.

커패시터와 인덕터素子를 이용한 monocyclic 電動機로 運轉하는 경우 Irisa(1964)는 monocyclic 起動을 위한 最適制御를 Nishiyama(1970)는 平衡

運轉을 위한 圖式解法을 Morishita등(1976)은 固定子非對稱 3相捲線을 갖는 monocyclic 電動機에 대하여, 그리고 커패시터와 thyristor를 이용한 方法(Iwahashi et al, 1980) 등이 發表되었다. 이들은 單相運轉때의 만족할 만한 起動, 加速, 運轉特性을 얻기위해 적당한 相變換器를 얻기위한 것이지만 두 素子를 運轉條件에 따라 알맞게 選定하는 것은 어려운 일이다.

한편, 커패시터素子 하나만 사용하는 경우 Brown과 Jha(1959)는 起動特性을 數式的으로 Daniels와 Pelly(1962)는 圖式的으로 Nishiyama(1964)는 起動 및 運轉特性을 圖式的으로 簡明하게 解析하였고 Murthy등(1983)은 過渡狀態의 電

理工大學 助教授

流와 토오크에 대하여 시뮬레이션技法을 사용하여 解析하였다. 또한 Brown, Daniels 그리고 Nishima는 平衡3相條件에서의 靜止時 電動機1相當의 어드미턴스에 대한 相變換器의 어드미턴스를 parameter로 하여 토오크, 電流등의 變化를 檢査하여 커패시터의 값을 결정하였고 Murthy등은 電壓不平衡率의 最小條件에서 커패시터의 값을 電動機 等價回路에 의한 影響을 考慮하지 않고 결정하였다.

따라서 本 研究에서는 等價回路種類에 따라 각 slip에서 電壓不平衡率이 最小가 되는 커패시터의 값과 電壓不平衡率의 變化를 檢査하므로써 最適 커패시턴스를 결정하고자 한다.

커패시턴스의 決定

不平衡3相回路的 各 相電壓 $\dot{V}_A, \dot{V}_B, \dot{V}_C$ 와 對稱分電壓의 正相分, 逆相分 그리고 零相分 $\dot{V}_1, \dot{V}_2, \dot{V}_0$ 사이의 關係는 式(1)과 같고

$$\begin{bmatrix} \dot{V}_A \\ \dot{V}_B \\ \dot{V}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V}_0 \\ \dot{V}_1 \\ \dot{V}_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 $a=e^{j\frac{2\pi}{3}}$ 이다.

1. Y結線電動機

Fig.1 a)의 回路에 대하여 電壓平衡式을 쓰면

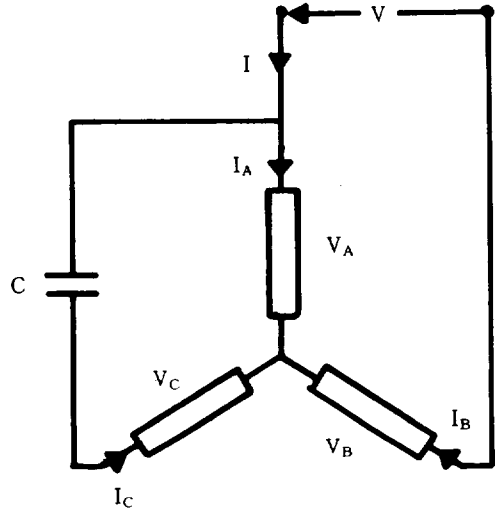
$$\dot{V} - \dot{V}_A + \dot{V}_B = 0 \quad (2)$$

$$\dot{V}_A - jx_c \dot{I}_c - \dot{V}_c = 0 \quad (3)$$

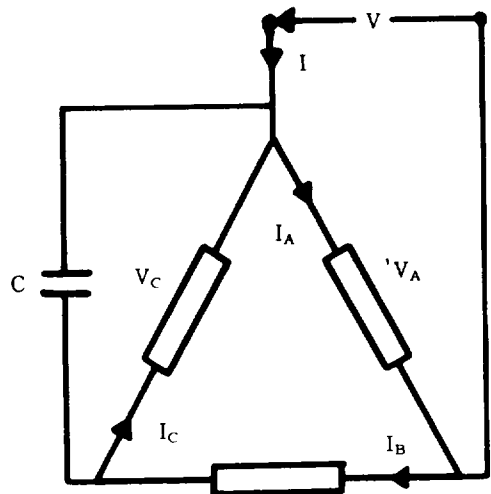
이고 對稱分電壓, 電流와 이들 사이의 關係式을 이용하여 \dot{V}_1 와 \dot{V}_2 를 구하면

$$\dot{V}_1 = \frac{-\dot{V}(\sqrt{3}e^{j30^\circ} + e^{-j210^\circ}x_c\dot{Y}_2)}{\sqrt{3}e^{j210^\circ}(\sqrt{3}e^{j30^\circ} + e^{-j210^\circ}x_c\dot{Y}_2) - \sqrt{3}e^{j150^\circ}(\sqrt{3}e^{-j30^\circ} + e^{j30^\circ}x_c\dot{Y}_1)} \quad (4)$$

$$\dot{V}_2 = \frac{\dot{V}(\sqrt{3}e^{-j30^\circ} + e^{j310^\circ}x_c\dot{Y}_1)}{\sqrt{3}e^{j210^\circ}(\sqrt{3}e^{j30^\circ} + e^{-j210^\circ}x_c\dot{Y}_2) - \sqrt{3}e^{j150^\circ}(\sqrt{3}e^{+j30^\circ} + e^{-j30^\circ}x_c\dot{Y}_1)} \quad (5)$$



a) Star connection



b) Delta connection

Fig. 1. Stator connections

이 되고 여기서 x_c 는 容量性리액턴스 \dot{Y}_1, \dot{Y}_2 는 각각 電動機 1相當 正相分 및 逆相分어드미턴스이다.

電壓不平衡率 U 는 定義에 따라 (6)式과 같고 이를 정리하면 (7)式과 같다.

$$U = \left| \frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} \right| \quad (6)$$

$$U = \left| \frac{\sqrt{3}e^{-j30^\circ} + x_c \dot{Y}_1 e^{j30^\circ}}{\sqrt{3}e^{j30^\circ} + x_c \dot{Y}_2 e^{-j210^\circ}} \right| \quad (7)$$

$$= \left\{ \frac{3 + x_c^2 Y_1^2 + x_c Y_1 K_1}{3 + x_c^2 Y_2^2 + x_c Y_2 K_2} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

여기서 $K_1 = \sqrt{3} \cos \phi_1 - 3 \sin \phi_1$, $K_2 = -3 \cos \phi_2 + \sqrt{3} \sin \phi_2$ 이고 ϕ_1, ϕ_2 는 각각 \dot{Y}_1, \dot{Y}_2 의 角이다.

相變換器로 사용할 커패시터의 커패시턴스를 電壓不平衡率이 最小인 條件式(8)을 써서 다음과 같이 구한다.

$$\frac{dU}{dx_c} = 0 \quad (8)$$

(8)式을 풀면

$$C_1 x_c^2 + C_2 x_c + C_3 = 0 \quad (9)$$

가 얻어지고 여기서 $C_1 = Y_1 Y_2 (K_2 Y_1 - K_1 Y_2)$, $C_2 = 6(Y_1^2 - Y_2^2)$, $C_3 = 3(K_1 Y_1 - K_2 Y_2)$ 이고 (9)式으로부터 x_c 가 결정된다.

2. △結線電動機

Fig.1b)의 回路에 대하여 1.과 같은 過程으로 x_c 를 결정하면 다음과 같다. 電壓平衡式은

$$\dot{V} - \dot{V}_A = 0$$

$$\dot{V}_C + jx_c (\dot{I}_C - \dot{I}_B) = 0$$

이며 \dot{V}_1, \dot{V}_2 를 구하고 U 를 구하면

$$U = \left\{ \frac{1 + 3x_c^2 Y_1^2 + K_3 x_c Y_1}{1 + 3x_c^2 Y_2^2 - K_4 x_c Y_2} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

이 되고 여기서 $K_3 = \sqrt{3} \cos \phi_1 - 3 \sin \phi_1$, $K_4 = \sqrt{3} \cos \phi_2 + 3 \sin \phi_2$ 이다. $dU/dx_c = 0$ 에서 x_c 를 구하면

$$C_4 x_c^2 + C_5 x_c + C_6 = 0 \quad (13)$$

이고 여기서 $C_4 = -3Y_1 Y_2 (K_3 Y_2 + K_4 Y_1)$, $C_5 = 6(Y_1^2 - Y_2^2)$, $C_6 = K_3 Y_1 + K_4 Y_2$ 이다.

等價回路

本 研究에 適用한 3相誘導電動機의 等價回路는 Fig.2 a)에 보인 바와 같은 Ishizaki와 Hirayama (1967)가 提案한 回路, Fig.2 b)의 IEEE의 方法

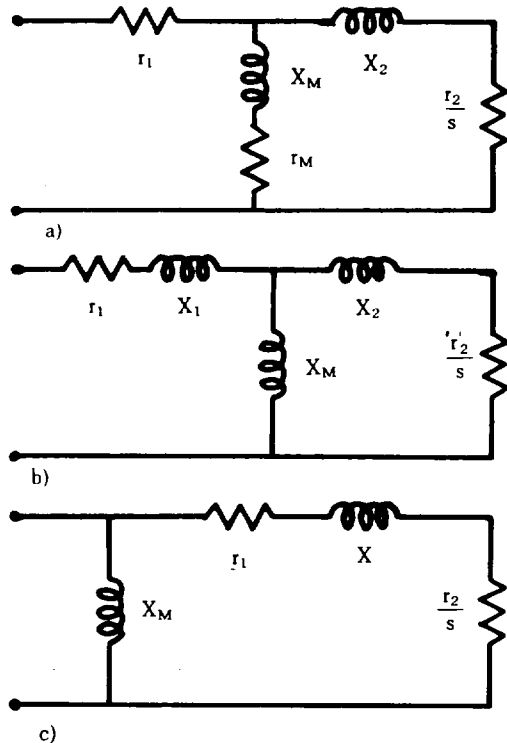


Fig. 2 Positive sequence equivalent circuits

(Fitzgerald et al 1983)과 Slemon(1980)에 의한 Fig.2 c)의 簡易等價回路이다. Ishizaki의 方法은 1次와 2次의 漏洩리액턴스의 分離를 시킬 必要가 없고 拘束試驗時에 發生는 銅損이외의 損失의 影響을 제거하고 또 拘束試驗의 結果로 부터 定數를 결정할 때에는 勵磁리액턴스도 考慮에 넣어 그 影響을 分離하고 있다. IEEE方法의 特徵은 等價回路의 1, 2次 漏洩리액턴스를 電動機의 階級에 따라 分離하는 것으로 여기서는 $x_1=x_2$ 로 假定하였다.

計算結果 및 檢討

定格電壓 220V, 周波數 60Hz, 4極, 出力 2.2Kw, 回轉數 1775RPM의 3相籠型誘導電動機에 대하여 定數測定을 위한 試驗을 하고 이로부터 Fig.2 a), b), c)의 等價回路 定數를 계산한 결과 Table 1과 같다. 이들 定數를 사용하여 (12), (13)式에서 구한 結果와 Murthy의 式으로 구한 結果를 각각

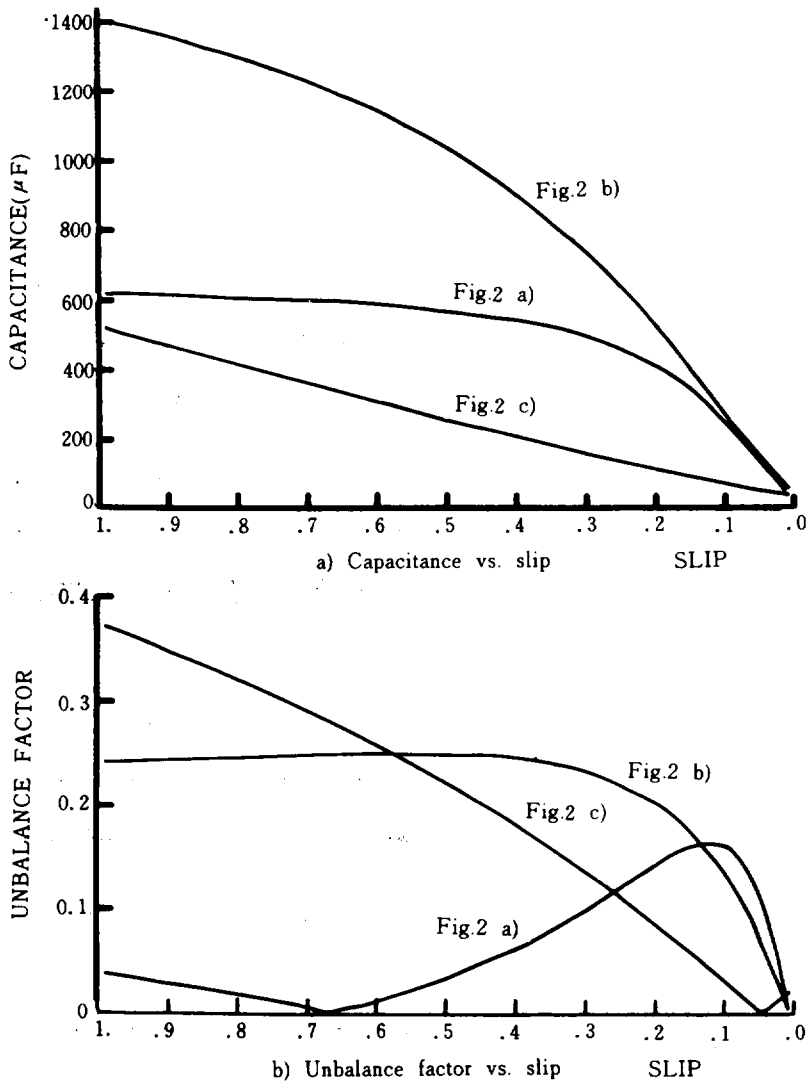


Fig. 3. Capacitance and unbalance factor at different speeds (by equ. (12), (13))

Table 1. Circuit constants

unit : Ω

Fig.3 a)	Fig.3 b)	Fig.3 c)
r_1 0.62970	r_1 0.54545	r_1 0.54545
x_M 30.77829	x_1 0.28707	x_M 31.16376
r_M 2.26786	x_M 30.49118	x 0.57415
x_2 2.38911	x_2 0.28707	r_2 0.37727
r_2 0.49940	r_2 0.38440	

Fig. 3,4에 보였다.

그림에서 보는 바와 같이 커패시턴스는 slip의 증가와 함께 커지고 電壓不平衡率은 Fig.3 b)에서는 不規則하게 변화하고 Fig.4 b)에서는 slip의 증가와 함께 커지고 있을 뿐만 아니라 하나의 커패시터 素子로는 電壓平衡狀態를 얻을 수 없음을 알 수 있다.

각 等價回路에 의한 slip 1~5%에서 계산한 커패시턴스를 Table 2.에 보였고 Method A는 本方

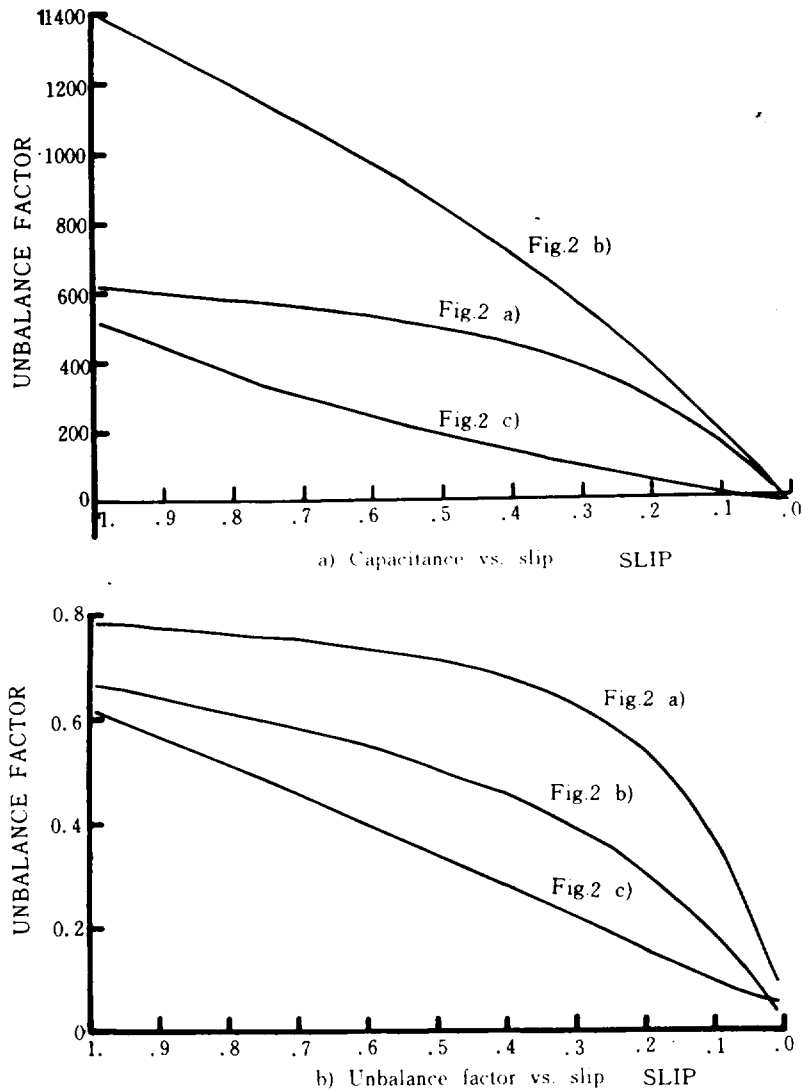


Fig. 4. Capacitance and unbalance factor at different speeds(by Murthy's equ.)

Table 2. Capacitance for slip at 1~5%

Method	Slip%	Capacitance μF		
		Fig.2 a)	Fig.2 b)	Fig.2 c)
A	1	6.03206 E-05	6.21576 E-05	4.61844 E-05
	2	7.83801 E-05	8.21472 E-05	4.92254 E-05
	3	9.88975 E-05	1.03552 E-04	5.23458 E-05
	4	1.21098 E-04	1.26123 E-04	5.55437 E-05
	5	1.44289 E-04	1.49636 E-04	5.88171 E-05
B	1	-1.76998 E-06	-2.54527 E-06	-1.95161 E-05
	2	1.60857 E-05	1.83828 E-05	-1.61029 E-05
	3	3.41271 E-05	3.93741 E-05	-1.26606 E-05
	4	5.21854 E-05	6.03847 E-05	-9.18937 E-06
	5	7.01229 E-05	8.13767 E-05	-5.68904 E-06

法을 Method B는 Murthy에 의한 方法을 表示하고 이에 의하면 Method A의 Fig.2 a)이나 b)의 回路가 適當하나 不平衡率이 적은 Fig.2 a)를 사용하는 것이 바람직하다.

그리고 誘導電動機의 定格運轉範圍의 slip은 3~4%이고 定格出力 2.2kw의 單相運轉用 커패시턴스가 120 μF 임을 考慮하면 Ishizaki가 提案한 等價回路에 의해 계산된 커패시턴스의 값이 比較的 잘 一致하고 있음을 알 수 있다.

3相誘導電動機를 單相運轉하기 위한 커패시턴스를 電壓不平衡率이 最小가 되는 條件을 이용하여 3개의 等價回路에 의해 구한 結果 다음과 같다.

1) 커패시터素子 하나로는 電壓平衡狀態를 얻을 수 없다.

2) slip의 增加에 따라 커패시턴스의 값도 커진다.

3) Ishizaki와 Hirayama의 等價回路가 커패시턴스를 決定하는데 適合하다.

摘 要

參 考 文 獻

- Brown, J. E. and Jha, C. S. 1959. The starting of a 3-phase induction motor connected to a single-phase supply system. *IEE proc.*, 106, Pt. A, No. 26; 183~190.
- Daniels, A. R. and Pelly, B. R. 1962. A locus diagram to determine the complete starting performance of a 3-phase induction motor connected to a single-phase supply. *IEE proc.* 109, Pt. C, No. 15; 244~249.
- Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., Umans, S. D. 1983. *Electric machinery*. McGraw-Hill; 429~434.
- Irisa, T. 1964. On the optimal control for monocyclic starting of three phase induction motors. *JIEE*, Vol. 84-12, No. 915; 78-85.
- Ishizaki, A. and Hirayama, K. 1967. Precise determination of equivalent circuit parameters for performance calculation of polyphase in-

- duction machines. *JIEE*, Vol. 87-1, No. 940: 173-180.
- Iwahashi, M., Morishita, T., Watanabe, H., and Okuda, S. 1980. Performance of 3-phase induction motor connected to a single-phase supply controlled by thyristor pair. *JIEE*, Vol. 100, No. 5; 41-48.
- Morishita, T., Watanabe, H., and Okuda, S. 1976. Analysis of monocyclic motors with asymmetrical 3-phase stator windings. *JIEE*, Vol. 96, No. 4; 25-32.
- Murthy, S. S., Berg, G. J., Singh, B., Jha, C. S. and Singh, B. P. 1983. Transient analysis of a three phase induction motor with single phase supply. *IEEE Trans. Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-102, No. 1; 28-37.
- Nishiyama, H. 1964. A graphical solution of the performances of a 3-phase induction motor supplied by a single phase source. *JIEE*, Vol. 84-1, No. 904; 89-97.
- Nishiyama, H. 1970. A graphical solution of the balanced running conditions of a 3-phase induction motor supplied by a single phase source. *JIEE*, Vol. 90, No. 10; 120-124.
- Slemon, G. R. and Straughen, A. 1980. *Electric machines*. Addison-Wesley; 417-421.