

純單相誘導電動機의 等價回路와 圖式的 特性算定法 및 定數決定에 의한 特性算定法

논문
22~1~5

The Equivalent Circuit, the Graphically Calculating Method of the Characteristics, and the Calculating Method by Determination of Equivalent Circuit Parameters in Single Phase Induction Motor

오 공 렬*
(Keung Yul Oh)

Abstract

The contriving equivalent circuit of single phase induction motor which does not separate the primary leakage reactance and the secondary leakage reactance by the revolving field theory, and the graphically Calculating method of the characteristics with T-type circle diagram of three phase induction motor which does not suppose the primary leakage reactance can be drawn up only by the no load test, the lock test, and measuring the resistance of stator winding are suggested in this paper.

The method which can calculate the parameters of the equivalent circuit and the characteristics with no load test, lock test and measuring resistance of stator windings is suggested in this paper. Considered the exciting current in lock test, we could calculate very accurate characteristics of the single phase induction motor.

1. 序 論

純單相誘導電動機의 解析에는 交叉磁界說에 의한 方法과 回轉磁界說에 의한 方法이 있다는 것은 周知의 事實이며 「文獻 1」 「文獻 2」에서 交叉磁界說에 立脚한 圖式的 解析法을 提案하고 있지만 別途 解析 因子를 導入해야 하므로 解析法 自體가 複雜하다.

一般적으로, 單相誘導電動機에서는 交番磁束을 正相과 逆相의 回轉磁界로 나누어 三相誘導電動機의 理論을 適用하므로써 slip對 torque特性을 直觀적으로 理解할 수 있으며 定性的인 特性을 求할 수 있으므로 回轉磁界說이 交叉磁界說보다 좋다.

「文獻 3」에서는 이 回轉磁界說에 立脚하여 三相誘導

電動機의 圓線圖를 使用한 圖式的 特性算定法을 提案하고 있는데 個別的으로 測定 不可能한 1次 및 2次漏洩 reactance를 分離한 T型 等價回路를 基本으로 하여 作成하는 圓線圖, 즉 1次漏洩 reactance의 값을 假定하여만 作成할 수 있는 圓線圖를 使用해야 한다.

本文에서는 그림 4와 같은 1次 및 2次漏洩 reactance를 分離하지 않은 純單相誘導電動機의 等價回路를 作成하고 「文獻 3」의 方法을 發展시켜 純單相誘導電動機의 無負荷試驗, 拘束試驗, 固定子卷線의 抵抗測定만으로 1次漏洩 reactance를 假定하지 않아도 作成할 수 있는 三相誘導電動機의 T型 圓線圖¹⁾를 使用하여 圖式的으로 特性을 算定하는 方法을 提案하였다.

그러나 이 方法으로서는 等價回路의 定數를 求할 수 없고 「文獻 5」에서도 無負荷試驗, 拘束試驗때의 等價回路를 簡易化하여 電動機의 定數決定法을 提案하고

*정회원 : 성균관대학교 이공대학 전기공학과 교수

있지만 아직 뚜렷한 方法이 發表되어 있지 않다.

本文에서는 無負荷試驗, 拘束試驗, 固定子卷線의 抵抗測定만으로써 그림 4의 等價路回의 定數를 決定하는 方法을 提案하였다.

本方法은 1次 및 2次漏洩 reactance를 分離할 必要가 없고 拘束試驗의 경우 勵磁 reactance를 考慮했으므로 精度가 높은 特性算定의 方法이 되었다.

그러나 本文에서는 空隙의 磁束分布는 正弦波分布라 假定하고 磁氣飽和, 漂游負荷損은 考慮하지 않았다.

2. 等價回路

回轉磁界說에 의한 正相分電動機의 1次電壓을 V_p 라 하고 鐵損을 무시하면 slip S 일때 正相分電動機의 固定子 및 回轉子의 回路에는 다음과 같은 回路方程式이 成立한다.

$$V_p = \left(\frac{r_1}{2} + j \frac{X_1}{2} \right) I_1 + j \frac{1}{2} X_m I_{2p}$$

$$0 = j \frac{1}{2} X_m I_1 + \left(\frac{r_2}{S} + j X_2 \right) I_{2p}$$

여기서 I_1 : 固定子電流

I_{2p} : 2次正相分電流

r_1 : 固定子卷線의 抵抗

r_2 : 回轉子卷線의 抵抗

X_m : 固定子及 回轉子 사이의 相互reactance

X_1 : 固定子卷線의 全自己 reactance

X_2 : 回轉子卷線의 全自己 reactance

이것을 matrix의 形式으로 나타내면 다음과 같이 된다.

$$\begin{pmatrix} V_p \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{r_1}{2} + j \frac{X_1}{2} & j \frac{1}{2} X_m \\ j \frac{1}{2} X_m & \frac{r_2}{S} + j X_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_{2p} \end{pmatrix} \quad (1)$$

지금 matrix

$$[C] = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \alpha \end{pmatrix} \quad (2)$$

에 의하여 回路의 變換을 해서 電流가

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_{2p} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I'_{2p} \end{pmatrix} \quad (3)$$

과 같이 變換되었다 하고 電壓 및 impedance에 對하여도 變換을 하면 式(1)은 다음과 같이 된다.

$$\begin{pmatrix} V_p \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{r_1}{2} + j \frac{X_1}{2} & j \frac{1}{2} \alpha X_m \\ j \frac{1}{2} \alpha X_m & \alpha^2 \left(\frac{r_2}{S} + j X_2 \right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I'_{2p} \end{pmatrix} \quad (4)$$

이 式으로 부터 그림 1과 같은 正相分電動機의 等價回路를 그릴 수 있다.

지금 固定子의 漏洩磁束에 의한 reactance를 x_0 ,

主磁束에 의한 reactance를 x_0 , 固定子의 漏洩磁束係數를 σ_1 , 實効卷線比를 u 라 하면

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= x_1 + x_0 \\ x_1 &= \sigma_1 X_1 \\ x_0 &= u X_m \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

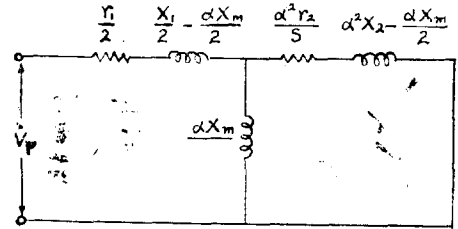


그림 1. 正相分電動機의 等價回路
Fig. 1. The equivalent circuit of the Positive-Phase-Sequence motor.

인 관계가 있다. 또 回轉子에 있어서도 漏洩磁束에 의한 reactance를 x_2 , 主磁束에 의한 reactance를 x'_0 라 하면,

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= x_2 + x'_0 \\ x'_0 &= \frac{1}{2} \cdot \frac{X_m}{u} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

인 관계가 있다.

그림 1에 있어서 α 는 任意로 擇할수 있으므로 $\alpha = u$ 라 하면

$$\left. \begin{aligned} X_1 - \frac{1}{2} \alpha X_m &= \frac{X_1}{2} - \frac{1}{2} u X_m = \frac{x_1}{2} + \frac{x_0}{2} - \frac{x_0}{2} = \frac{x_1}{2} \\ \frac{\alpha X_m}{2} &= \frac{u X_m}{2} = \frac{x_0}{2} \\ \alpha^2 X_2 - \frac{\alpha X_m}{2} &= u^2 x_2 + u^2 x'_0 - \frac{u}{2} \cdot 2u x'_0 = \\ u^2 x_2 &= x'_2, \quad \frac{\alpha^2 r_2}{S} = \frac{u^2 r_2}{S} = \frac{r'_2}{S} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

가 된다. 따라서 逆相分電動機에 對해서도 同一한 해석을 하면 $\alpha = u$ 일때 純單相誘導電動機의 等價回路는 從來 使用한 것과 마찬가지로 그림 2와 같이 된다.

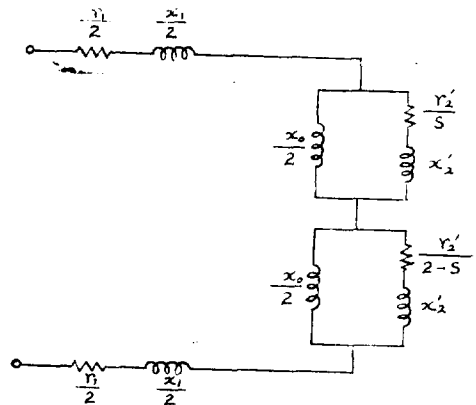


그림 2. $\alpha = u$ 때의 等價回路
Fig. 2. The equivalent circuit at $\alpha = u$.

그림 1에 있어서 $\alpha = u$ 라고 擇하지 않으면 안될 理由는 없으므로

$$\alpha = \frac{X_1}{X_m} = \frac{u}{1-\sigma_1} \quad (8)$$

이라 하면⁴⁾

$$\left. \begin{aligned} \frac{X_1}{2} - \frac{1}{2}\alpha X_m &= 0 \\ \frac{1}{2}\alpha X_m &= \frac{X_1}{2} \\ \alpha^2 X_2 - \frac{1}{2}\alpha X_m &= \frac{1+\sigma_1}{2(1-\sigma_1)\sigma_1} x_1 + \left(\frac{u}{1-\sigma_1}\right)^2 x_2 = x_2'' \\ \alpha^2 r_2 &= \left(\frac{u}{1-\sigma_1}\right)^2 r_2 = r_2'' \end{aligned} \right\} (9)$$

와 같이 되므로 $X = \frac{X_1}{X_m}$ 라고 놓았을때는 그림 3과 같이 固定子卷線 및 回轉子卷線の 漏洩 reactance 를 分靜하지 않은 等價回路를 얻는다.

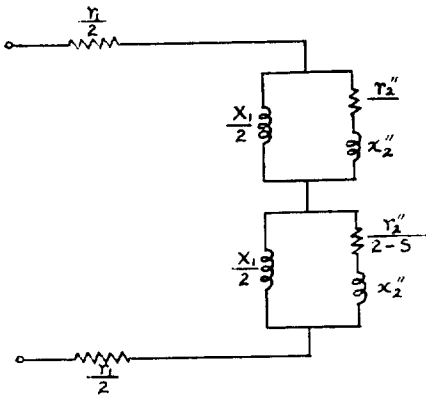


그림 3. $\alpha = \frac{X_1}{X_m}$ 時의 等價回路

Fig 3. The equivalent circuit at $\alpha = \frac{X_1}{X_m}$

이 等價回路에다 鐵損에 該當하는 抵抗分 r_0 를 考慮하면 그림 4와 같이 된다.

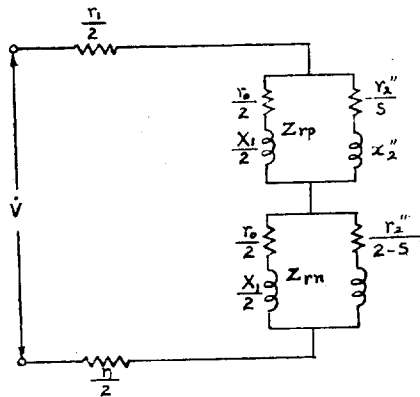


그림 4. 鐵損을 考慮한 等價回路
Fig. 4. The equivalent circuit considered iron loss.

여기서

$$Z_p = \frac{r_1}{2} + \frac{1}{\frac{1}{\frac{r_0}{2} + j\frac{X_1}{2}} + \frac{1}{\frac{r_2''}{2-s} + jx_2''}} = \frac{r_1}{2} + Z_p \quad (10)$$

$$Z_n = \frac{r_1}{2} + \frac{1}{\frac{1}{\frac{r_0}{2} + j\frac{X_1}{2}} + \frac{1}{\frac{r_2''}{s} + jx_2''}} = \frac{r_1}{2} + Z_n \quad (11)$$

라 하고 印加電壓을 V 라 하면

$$V = I_1(Z_p + Z_n) \quad (12)$$

으로 된다.

3. 圖式的特性算定法

(1) 純單相誘導電動機의 固定子卷線을 各相卷線으로 한 對稱三相誘導電動機의 定數를 使用한 等價回路

純單相誘導電動機의 固定子卷線을 各相卷線으로 한 그림 5와 같은 對稱三相誘導電動機를 생각하고 먼저 이것을 純單相誘導電動機의 集合으로 取扱한다. 여기서 그림 4의 等價回路에 따라 固定子卷線 A, B, C에 의한 交番磁束을 主磁束과 漏洩磁束으로 分割하지 말고 이들의 合成으로 생각하여 이것을 正相回轉磁束과 逆相回轉磁束으로 分解한다.

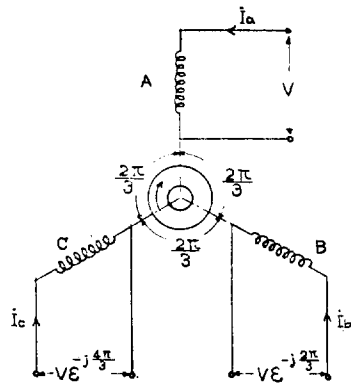


그림 5. 對稱三相誘導電動機
Fig. 5. The symmetrical three phase Induction motor.

지금 正相回轉磁束에 의하여 A, B, C 卷線에 誘起되는 起電力을 各各 $\dot{E}_{aap}, \dot{E}_{abb}, \dot{E}_{acp}, \dot{E}_{bap}, \dot{E}_{bbp}, \dot{E}_{bcp}, \dot{E}_{cab}, \dot{E}_{cbp}, \dot{E}_{ccp}$ 라 하고 逆相回轉磁束에 의한 것들 各各 $\dot{E}_{aan}, \dot{E}_{abn}, \dot{E}_{acn}, \dot{E}_{ban}, \dot{E}_{bbn}, \dot{E}_{bcn}, \dot{E}_{can}, \dot{E}_{cbn}, \dot{E}_{ccn}$ 이라 하면 이들 起電力 사이에는 다음과 같은 關係가 있다.

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_{aap} &= \dot{E}_{bap} e^{j2\pi/3} = \dot{E}_{cap} e^{j4\pi/3} \\ \dot{E}_{abb} &= \dot{E}_{bbp} e^{j2\pi/3} = \dot{E}_{cbp} e^{j4\pi/3} \\ \dot{E}_{acp} &= \dot{E}_{bcp} e^{j2\pi/3} = \dot{E}_{ccp} e^{j4\pi/3} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_{aan} &= \dot{E}_{ban} e^{-j2\pi/3} = \dot{E}_{can} e^{-j4\pi/3} \\ \dot{E}_{abn} &= \dot{E}_{bbn} e^{-j2\pi/3} = \dot{E}_{cbn} e^{-j4\pi/3} \\ \dot{E}_{acn} &= \dot{E}_{bcn} e^{-2\pi/3} = \dot{E}_{ccn} e^{-j4\pi/3} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

이들 \dot{E}_{aap} , \dot{E}_{bbp} , \dot{E}_{ccp} 는 A, B, C 卷線에 電流 \dot{I}_a , \dot{I}_b , \dot{I}_c 가 흐를 때 생기는 正相回轉磁束에 의하여 各自의 卷線에 誘起된 起電力인데 이것을 다음과 같이 impedance Z_{rp} , Z_{rn} 中の 電壓降으로서 消費된다고 볼 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_{aap} &= \dot{I}_a Z_{rp} \\ \dot{E}_{bbp} &= \dot{I}_b Z_{rp} \\ \dot{E}_{ccp} &= \dot{I}_c Z_{rp} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

또

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_{aan} &= \dot{I}_a Z_{rn} \\ \dot{E}_{bbn} &= \dot{I}_b Z_{rn} \\ \dot{E}_{ccn} &= \dot{I}_c Z_{rn} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

이라 볼 수 있다. 이러한 結果에 따라 各 固定子 卷線에 誘起되는 合成起電力을 求하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{E}_a &= \dot{E}_{aap} + \dot{E}_{abb} + \dot{E}_{acp} + \dot{E}_{aan} + \dot{E}_{abn} + \dot{E}_{acn} \\ &= (\dot{I}_a + \dot{I}_b e^{-j2\pi/3} + \dot{I}_c e^{j4\pi/3}) Z_{rp} + \\ &\quad (\dot{I}_a + \dot{I}_b e^{-j2\pi/3} + \dot{I}_c e^{-j4\pi/3}) Z_{rn} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_b &= \dot{E}_{bap} + \dot{E}_{bbp} + \dot{E}_{bcp} + \dot{E}_{ban} + \dot{E}_{bbn} + \dot{E}_{bcn} \\ &= (\dot{I}_a + \dot{I}_b e^{j2\pi/3} + \dot{I}_c e^{j4\pi/3}) Z_{rp} e^{-j2\pi/3} + \\ &\quad (\dot{I}_a + \dot{I}_b e^{-j2\pi/3} + \dot{I}_c e^{-j4\pi/3}) Z_{rn} e^{j2\pi/3} \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_c &= \dot{E}_{cap} + \dot{E}_{cbp} + \dot{E}_{ccp} + \dot{E}_{can} + \dot{E}_{cbn} + \dot{E}_{ccn} \\ &= (\dot{I}_a + \dot{I}_b e^{j2\pi/3} + \dot{I}_c e^{j4\pi/3}) Z_{rp} e^{-j4\pi/3} + \\ &\quad (\dot{I}_a + \dot{I}_b e^{-j2\pi/3} + \dot{I}_c e^{-j4\pi/3}) Z_{rn} e^{j4\pi/3} \end{aligned} \quad (19)$$

따라서 固定子의 세 卷線을 星形으로 接續하여 A, B, C 卷線에 V , $V e^{-j2\pi/3}$, $V e^{-j4\pi/3}$ 인 相電壓을 印加했을 때는 다음식이 成立한다.

$$\begin{aligned} V &= \dot{E}_a + \dot{I}_{a1} \\ &= (\dot{I}_a + \dot{I}_b e^{-j2\pi/3} + \dot{I}_c e^{j4\pi/3}) Z_{rp} + \\ &\quad (\dot{I}_a + \dot{I}_b e^{-j2\pi/3} + \dot{I}_c e^{-j4\pi/3}) Z_{rn} + \dot{I}_{a1} r_1 \end{aligned} \quad (20)$$

$$V e^{-j2\pi/3} = \dot{E}_b + \dot{I}_{b1} r_1 \quad (21)$$

$$V e^{-j4\pi/3} = \dot{E}_c + \dot{I}_{c1} r_1 \quad (22)$$

여기서 $\dot{I}_b = \dot{I}_a e^{-j2\pi/3}$, $\dot{I}_c = \dot{I}_a e^{-j4\pi/3}$ 인 關係가 있으므로

$$\begin{aligned} V &= 3\dot{I}_a Z_{rp} + \dot{I}_{a1} r_1 \\ \dot{I}_a &= \frac{V}{r_1 + 3Z_{rp}} \end{aligned} \quad (23)$$

이것은 純單相誘導電動機의 集合이라고 생각한 對稱 三相誘導電動機의 固定子電流를, 純單相誘導電動機의 定數를 使用하여 나타낸 것이다.

그리고 純單相誘導電動機의 固定子卷線을 各相卷線으로 한 對稱三相誘導電動機 自體의 各 定數에 添字 3

을 붙이고 이들 定數를 使用하여 A 卷線의 電流 \dot{I}_a 를 나타내면 「文獻 4」의 等價回路에 의하여

$$\dot{I}_a = \frac{V}{r_{13} + Z_{rp3}} \quad (24)$$

여기서

$$Z_{rp3} = \frac{1}{\frac{1}{r_{03} + jX_{13}} + \frac{1}{\frac{r''_{23}}{S} + jx''_{23}}} \quad (25)$$

로 되는데 純單相誘導電動機의 集合이라고 생각하여 求한 對稱三相誘導電動機의 固定子電流式(23)과 對稱 三相誘導電動機 自體의 定數를 使用하여 求한 固定子 電流式(24)는 slip의 全範圍에 對해서 같아야 하므로

$$\left. \begin{aligned} Z_{rp3} &= 3Z_{rp} \\ r_{13} &= r_1 \\ r_{03} &= \frac{3}{2} r_0 & X_{13} &= \frac{3}{2} X_1 \\ r''_{23} &= 3r''_2 & x''_{23} &= 3x''_2 \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

으로 된다.

이 結果에 따라 對稱三相誘導電動機 自體의 各 定數를 使用하여 單相誘導電動機의 等價回路를 나타내면 그림 6과 같이 된다.

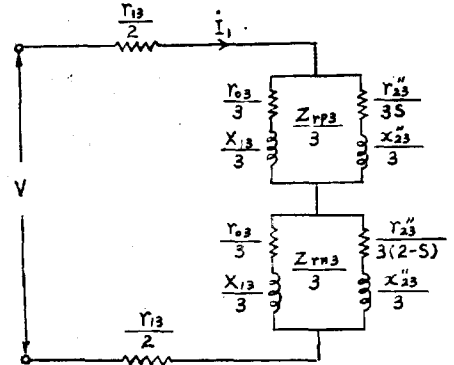


그림 6. 對稱三相誘導電動機의 定數를 使用한 等價回路

Fig 6. The equivalent circuit using the equivalent circuit parameter of the symmetrical three phase induction motor.

지금

$$\left. \begin{aligned} Z_{p3} &= r_{13} + Z_{rp3} \\ Z_{n3} &= r_{13} + Z_{rn3} \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

라 하면 그림 6에 의하여 \dot{I}_1 은

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \frac{V}{r_{13} + \frac{Z_{rp3}}{3} + \frac{Z_{rn3}}{3}} \\ &= 3 \frac{V}{Z_{p3}} \cdot \frac{V}{r_{13}} \cdot \frac{V}{Z_{n3}} \\ &\quad \cdot \frac{V}{r_{13} \left(\frac{V}{Z_{p3}} + \frac{V}{Z_{n3}} \right) + \frac{V}{Z_{p3}} \cdot \frac{V}{Z_{n3}}} \end{aligned} \quad (28)$$

로 된다.

(2) 純單相誘導電動機의 固定子卷線을 各相卷線으로
한 對稱三相誘導電動機의 圖線圖

對稱三相誘導電動機를 拘束할 경우의 正相 impedance Z_{p3} 와 逆相 impedance Z_{n3} 는 같으므로 純單相誘導電動機를 拘束할 경우의 固定子電流는 式 (28)로 부터

$$(I_1)_{s=1} = 3 \left(\frac{V}{Z_{p3}} \right)_{s=1} \cdot \frac{r_{13}}{2 \frac{V}{r_{13}} + \left(\frac{V}{Z_{p3}} \right)_{s=1}} \quad (29)$$

따라서 三相對稱誘導電動機의 拘束電流는

$$\left(\frac{V}{Z_{p3}} \right)_{s=1} = \left(\frac{2}{3} I_1 \right)_{s=1} \cdot \frac{r_{13}}{2 \frac{V}{r_{13}} - \left(\frac{I_1}{3} \right)_{s=1}} \quad (30)$$

一般的으로 $V/r_{13} \gg (I_1/3)_{s=1}$ 인 관계가 있으므로

$$\left(\frac{V}{Z_{p3}} \right)_{s=1} \approx \frac{2}{3} \cdot (I_1)_{s=1} \quad (31)$$

이라 하여도 무방하다. 그러므로 純單相誘導電動機의 拘束電流를 알면 對稱三相誘導電動機의 拘束電流를 求할 수 있다.

普通의 運轉狀態에서는 $V/r_{13} \gg V/Z_{p3}$ 이므로 式(28)은

$$I_1 \approx 3 \frac{V}{Z_{p3}} \cdot \frac{\frac{V}{Z_{n3}}}{\frac{V}{Z_{p3}} + \frac{V}{Z_{n3}}} \quad (32)$$

로 되는데 無負荷時에는 $(V/Z_{n3})_{s=0} = (V/Z_{p3})_{s=2}$ 이고 $(V/Z_{p3})_{s=2} \approx (V/Z_{p3})_{s=1} \gg (V/Z_{p3})_{s=0}$ 이므로 單相誘導電動機의 無負荷때의 固定子電流는 近似的으로 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$\begin{aligned} (I_1)_{s=0} &\approx 3 \left(\frac{V}{Z_{p3}} \right)_{s=0} \cdot \frac{\left(\frac{V}{Z_{n3}} \right)_{s=0}}{\left(\frac{V}{Z_{p3}} \right)_{s=0} + \left(\frac{V}{Z_{n3}} \right)_{s=0}} \\ &= 3 \left(\frac{V}{Z_{p3}} \right)_{s=0} \cdot \frac{\left(\frac{V}{Z_{p3}} \right)_{s=2}}{\left(\frac{V}{Z_{p3}} \right)_{s=0} + \left(\frac{V}{Z_{p3}} \right)_{s=2}} \\ &\approx 3 \left(\frac{V}{Z_{p3}} \right)_{s=0} \cdot \frac{\left(\frac{V}{Z_{p3}} \right)_{s=1}}{\left(\frac{V}{Z_{p3}} \right)_{s=0} + \left(\frac{V}{Z_{p3}} \right)_{s=1}} \quad (33) \end{aligned}$$

따라서 對稱三相誘導電動機의 無負荷電流는

$$\left(\frac{V}{Z_{p3}} \right)_{s=0} \approx \left(\frac{I_1}{3} \right)_{s=0} \cdot \frac{\left(\frac{V}{Z_{p3}} \right)_{s=1}}{\left(\frac{V}{Z_{p3}} \right)_{s=1} - \left(\frac{I_1}{3} \right)_{s=0}} \quad (34)$$

따라서 單相誘導電動機의 無負荷電流 $(I_1)_{s=0}$, 拘束電流 $(I_1)_{s=1}$ 을 알면 그림 7과 같은 作圖에 의하여 對稱三相誘導電動機의 無負荷電流 $(V/Z_{p3})_{s=0} = \overline{ON}$ 을 求할 수 있다.

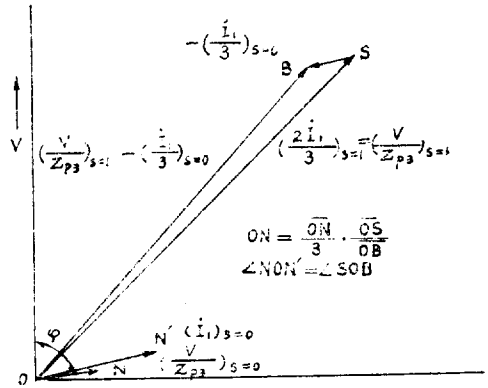


그림 7. 對稱三相誘導電動機의 無負荷電流의 作圖
Fig 7. The diagram of the on load current in the symmetrical three phase induction motor.

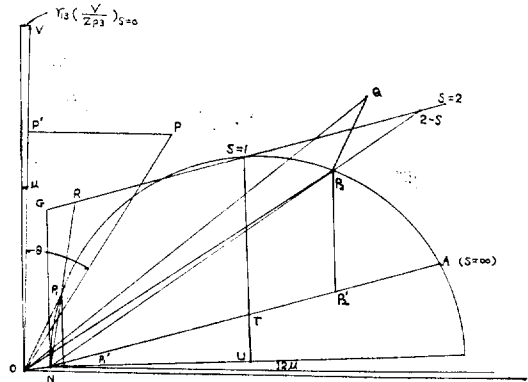


그림 8. 純單相誘導電動機의 圖式的特性 算定法
Fig 8. The graphically calculating methods of characteristics of single phase induction motor.

以上으로서 對稱三相誘導電動機의 無負荷電流 $(V/Z_{p3})_{s=0} = I_{03} = I_{w3} - jI_{l3}$ (點 N), 拘束電流 $(V/Z_{p3})_{s=1} = I_{13} = I_{w3} - jI_{l3}$ (點 S)가 求해지므로 純單相誘導電動機 固定子卷線의 抵抗 $r_1 = r_{13}$ 만 알면 測定 不可能한 1次漏洩 reactance 를 몰라도 純單相誘導電動機의 固定子卷線을 各相卷線으로 하는 對稱三相誘導電動機의 圖線圖, 즉 1次 및 2次漏洩 reactance 를 分離하지 않은 T型 等價回路를 基本으로 하여 作成하는 圓線圖⁴⁾를 그림 8과 같이 作圖할 수 있으며 \overline{ST} 上的 點 T는

$$\overline{ST} = (I_{w3} - I_{w3}) - (I_{s2}^2 - I_{s1}^2) \frac{r_{13}}{V} \quad (35)$$

로서 결정된다.

그리고 이 圓線圖는 對稱三相誘導電動機의 固定子の 相電流 V/Z_{p3} 의 軌跡이지만 slip S 일때의 V/Z_{n3} 는 slip $(2-S)$ 일때의 V/Z_{p3} 와 같으므로 $\overline{OP}_2=V/Z_{n3}$, $\overline{OP}_1=V/Z_{p3}$ 로 된다.

(3) 對稱三相誘導電動機의 圓線圖를 使用한 純單相誘導電動機의 圖式特性算定法

式 (32)로서 表示되는 純單相誘導電動機의 固定子電流의 絕對值 \overline{OP} 및 印加電壓 V 에 對한 位相 θ 는 圖式的으로 求할 수 있으며 그림 8에서

$$\overline{OP}=30P_1 \frac{OP_2}{OQ} \quad (36)$$

$$\angle \theta = \angle VOP_1 + \angle P_2OQ \quad (37)$$

와 같이 되니

$$1次電流 I_1 = \overline{OP} [A] \quad (38)$$

$$力率 \cos \theta = \frac{\overline{OP}'}{OP} \times 100 [\%] \quad (39)$$

$$1次入力 P_1 = VI_1 \cos \theta = \overline{OP}' \cdot V [V] \quad (40)$$

$$slip S = \frac{\overline{CR}}{\overline{CS}} \times 100 [\%] \quad (41)$$

로 된다.

그림 6의 等價回路로 부터 純單相誘導電動機의 正相 torque T_p 및 逆相 torque T_n 은 各各

$$T_p = I_1^2 \frac{(Z_{rps})^2}{\left(\frac{r''_{23}}{S}\right)^2 + (x''_{23})^2} \cdot \frac{r''_{23}}{3S} [\text{syn}\cdot\text{watt}] \quad (42)$$

$$T_n = I_1^2 \frac{(Z_{rn3})^2}{\left(\frac{r''_{23}}{2-S}\right)^2 + (x''_{23})^2} \cdot \frac{r''_{23}}{3(2-S)} [\text{syn}\cdot\text{watt}] \quad (43)$$

로 되는데 對稱三相誘導電動機의 正相 torque T_{p3} 및 逆相 torque T_{n3} 는 各各

$$T_{p3} = 3 \left(\frac{V}{Z_{p3}}\right)^2 \frac{(Z_{rps})^2}{\left(\frac{r''_{23}}{S}\right)^2 + (x''_{23})^2} \cdot \frac{r''_{23}}{S} = 3V \cdot \overline{P_1 P_1'} [\text{syn}\cdot\text{watt}] \quad (44)$$

$$T_{n3} = 3 \left(\frac{V}{Z_{n3}}\right)^2 \frac{(Z_{rn3})^2}{\left(\frac{r''_{23}}{2-S}\right)^2 + (x''_{23})^2} \cdot \frac{r''_{23}}{2-S} = 3V \cdot \overline{P_2 P_2'} [\text{syn}\cdot\text{watt}] \quad (45)$$

이므로 純單相誘導電動機의 正相 torque T_p 및 逆相 torque T_n 은 다음과 같이 된다.

$$T_p = \frac{T_{p3}}{9} \left(\frac{I_1}{V}\right)^2 = V \frac{\overline{P_1 P_1'}}{3} \left(\frac{\overline{OP}}{OP_1}\right)^2 [\text{syn}\cdot\text{watt}] \quad (46)$$

$$T_n = \frac{T_{n3}}{9} \left(\frac{I_1}{V}\right)^2 = V \frac{\overline{P_2 P_2'}}{3} \left(\frac{\overline{OR}}{OP_2}\right)^2 [\text{syn}\cdot\text{watt}] \quad (47)$$

따라서

$$回轉力 T = T_p - T_n [\text{syn}\cdot\text{watt}] \quad (48)$$

$$出力 P_s = (1-S)T [Watt] \quad (49)$$

$$効率 \eta = \frac{P_s}{P_1} \times 100 [\%] \quad (50)$$

이러한 結果들로부터 單相誘導電動機의 固定子卷線을 各相卷線으로 하는 三相誘導電動機의 圓線圖를 使用하여 純單相誘導電動機의 運轉特性을 圖式的으로 求할 수 있다.

3. 定數決定에 의한 特性算定法

(1) 定數決定法

無負荷試驗때에는 $S \approx 0$ 이고 逆相分電壓이 거의 零에 가까우므로 逆相分電動機의 鐵損을 無視하면 이때의 等價回路는 그림 9와 같이 된다.

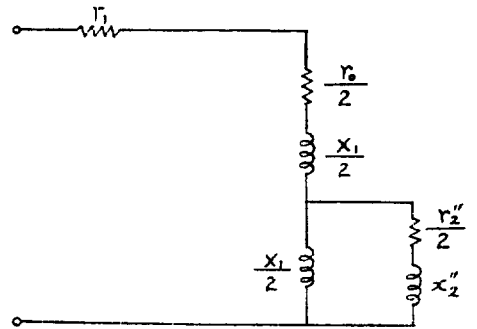


그림 9. 無負荷試驗때의 等價回路

Fig 9. The equivalent circuit in the no load test.

이 回路의 impedance를 $R_0 + jX_0$ 라 하면

$$R_0 + jX_0 = r_1 + \frac{r_0}{2} + j \frac{X_1}{2} + \frac{1}{\frac{1}{j \frac{X_1}{2}} + \frac{1}{\left(\frac{r_2''}{2} + jx_2''\right)}} \quad (51)$$

여기서 R_0, X_0 는 各各

$$R_0 = r_1 + \frac{r_0}{2} + \frac{\frac{r_2''}{2} \left(\frac{X_1}{2}\right)^2}{\left(\frac{r_2''}{2}\right)^2 + \left(\frac{X_1}{2} + x_2''\right)^2} \quad (52)$$

$$X_0 = \frac{X_1}{2} + \frac{\left(\frac{r_2''}{2}\right)^2 X_1 + \frac{X_1}{2} \cdot x_2'' \left(\frac{X_1}{2} + x_2''\right)}{\left(\frac{r_2''}{2}\right)^2 + \left(\frac{X_1}{2} + x_2''\right)^2} \quad (53)$$

이때 이 R_0, X_0 는 無負荷試驗의 結果로부터 算定할 수 있다.

拘束試驗할때에는 $S=1$ 이고 보통 低電壓으로써 實施하므로 鐵損을 無視할 수 있다. 따라서 이때의 等價回路를 그림 10과 같이 생각하고 이 回路의 impedance를 $R_L + jX_L$ 이라 하면

$$R_L + jX_L = r_1 + 2 \frac{1}{\frac{1}{j \frac{X_1}{2}} + \frac{1}{r_2'' + jx_2''}} \quad (54)$$

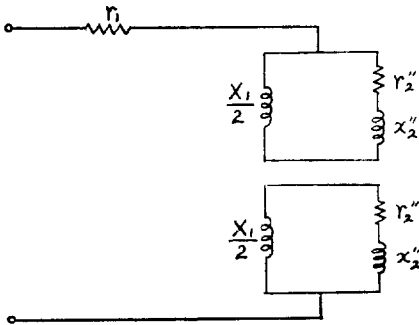


그림 10. 拘束試驗때의 等價回路
 Fig. 10. The equivalent circuit in the lock test.

여기서 R_L, X_L 은 각각

$$R_L = r_1 + 2 \frac{r_2'' \left(\frac{X_1}{2}\right)^2}{(r_2'')^2 + \left(\frac{X_1}{2} + x_2''\right)^2} \quad (55)$$

$$X_L = 2 \frac{(r_2'')^2 \frac{X_1}{2} + \frac{X_1}{2} x_2'' \left(\frac{X_1}{2} + x_2''\right)}{(r_2'')^2 + \left(\frac{X_1}{2} + x_2''\right)^2} \quad (56)$$

이다.

이 R_L, X_L 은 拘束試驗結果로부터 算定할 수 있으며 지금 $R_L = r_1 + R_L', r_2'' = r, X_1/2 = X, x_2'' = x$ 라 놓으면 式 (53)~(56)으로 부터

$$X_0 = X + \frac{X \left(\frac{r}{2}\right)^2 + Xx(X+x)}{\left(\frac{r}{2}\right)^2 (X+x)^2} \quad (57)$$

$$R_L' = 2 \frac{X^2 r}{r^2 + (X+x)^2} \quad (58)$$

$$X_L = 2 \frac{Xr^2 + Xx(X+x)}{r^2 + (X+x)^2} \quad (59)$$

이다. 式 (56)으로 부터 r^2 을 구하면

$$r^2 = (X+x) \left(\frac{X_L X}{2X - X_L} - x \right) \quad (60)$$

으로 된다. 式 (55)로 부터

$$\begin{aligned} 2X^2 r &= R_L' (r^2 + (X+x)^2) \\ &= R_L' \left\{ (X+x) \left(\frac{X_L X}{2X - X_L} - x \right) + (X+x)^2 \right\} \\ &= R_L' (X+x) \frac{2X^2}{2X - X_L} \end{aligned}$$

이므로

$$r = \frac{R_L' (X+x)}{2X - X_L} \quad (61)$$

이 얻어진다. 이것을 式 (60)에 代入하여 x 를 求하면

$$x = \frac{\{X_L(2X - X_L) - R_L'^2\} X}{R_L'^2 + (2X - X_L)^2} \quad (62)$$

가 되고

$$X+x = \frac{2(2X - X_L) X^2}{R_L'^2 + (2X - X_L)^2} \quad (63)$$

인 관계가 얻어진다. 이것을 式 (61)에 代入하면

$$r = \frac{2R_L' X^2}{R_L'^2 + (2X - X_L)^2} \quad (64)$$

여기서 式 (62), (63), (64)를 式 (57)에 代入하면

$$X_0 = X + \frac{X R_L'^2 + \{X_L(2X - X_L) - R_L'^2\} 2(2X - X_L)}{R_L'^2 + 4(2X - X_L)^2} \quad (65)$$

로 되는데 여기서 $y = 2X - X_L$ 이라 놓고 整理하면

$$y^3 + 2(X_L - X_0)y^2 - \frac{1}{2}R_L'^2 y + \frac{1}{2}(X_L - X_0)R_L'^2 = 0$$

로 되니

$$b = 2(X_L - X_0)$$

$$c = \frac{1}{4}R_L'^2$$

으로 놓으면 3차 式은

$$y^3 + by^2 - 2cy + bc = 0 \quad (66)$$

으로 된다.

이 三次方程式을 Cardano의 解法에 따라 풀면 다음과 같다.

式 (66)에서 $y = z - \frac{b}{3}$ 라 놓으면

$$z^3 - \left(\frac{b^2}{3} + 2c\right)z + \left(\frac{2}{27}b^3 + \frac{5}{3}bc\right) = 0 \quad (67)$$

여기서 $z = u + v$ 라 놓으면

$$\left\{u^3 + v^3 + \frac{2}{27}b^3 + \frac{5}{3}bc\right\} + \left\{3uv - \left(\frac{b^2}{3} + 2c\right)\right\}(u+v) = 0 \quad (68)$$

따라서

$$u^3 + v^3 + \left(\frac{2}{27}b^3 + \frac{5}{3}bc\right) = 0 \quad (69)$$

$$3uv - \left(\frac{b^2}{3} + 2c\right) = 0 \quad (70)$$

이 式으로 부터 u^3, v^3 을 根으로 하는 三次方程式은

$$z^2 + \left(\frac{2}{27}b^3 + \frac{5}{3}bc\right)z + \left(\frac{b^2}{9} + \frac{2c}{3}\right)^3 = 0 \quad (71)$$

그러므로 u^3, v^3 은 각각

$$\left. \begin{aligned} u^3 &= \frac{1}{2} \left\{ -\left(\frac{2}{27}b^3 + \frac{5}{3}bc\right) + \sqrt{K} \right\} = A_1 \\ v^3 &= \frac{1}{2} \left\{ -\left(\frac{2}{27}b^3 + \frac{5}{3}bc\right) - \sqrt{K} \right\} = A_2 \end{aligned} \right\} \quad (72)$$

여기서 K 는

$$\begin{aligned} K &= \left(\frac{2}{27}b^3 + \frac{5}{3}bc\right)^2 - 4\left(\frac{b^2}{9} + \frac{2c}{3}\right)^3 \\ &= \frac{4c}{27} \left\{ b^2 + \frac{1}{8}(\sqrt{3993} + 59)c \right\} \left\{ b^2 - \frac{1}{8}(\sqrt{3993} - 59)c \right\} \end{aligned} \quad (73)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{16}{27} R_L'^2 \{ (X_L - X_0 + 0.95461 R_L'^2) \} \{ (X_L - X_0)^2 \\ &\quad - 0.03273 R_L'^2 \} \end{aligned} \quad (74)$$

이다.

이 K 는 附錄 1에서 보는 바와 같이 $K > 0$ 이므로 z 는 $\sqrt[3]{A_1} + \sqrt[3]{A_2}$ 인 實根과 $\omega \sqrt[3]{A_1} + \omega^2 \sqrt[3]{A_2}$, $\omega^2 \sqrt[3]{A_1} + \omega \sqrt[3]{A_2}$ 인 두개의 虛根을 가지지만 z 로서는 實根만 擇하면 된다. 그런데 附錄 2에서 보는 바와 같이 이 實根은 正數이다. 즉 z 는

$$z = \sqrt[3]{\frac{1}{2} \left[-\left\{ \frac{16}{27} (X_L - X_0)^3 + \frac{5}{6} (X_L - X_0) R_L'^2 \right\} + \sqrt{K} \right]} + \sqrt[3]{\frac{1}{2} \left[-\left\{ \frac{16}{27} (X_L - X_0)^3 + \frac{5}{6} (X_L - X_0) R_L'^2 \right\} - \sqrt{K} \right]} \quad (75)$$

인 正의 實數이다.

이 z 의 값을 使用하면

$$x = \frac{1}{2}(y + X_L) = \frac{1}{2} \left\{ z + \frac{1}{3}(X_L + 2X_0) \right\} \quad (76)$$

이것을 式 (62), (64)에 각각 代入하면 x, r 이 求해지므로 다음과 같은 式을 얻는다.

$$X_1 = \left\{ z + \frac{1}{3}(X_L + 2X_0) \right\} \quad (77)$$

$$r_2'' = \frac{1}{2} \left\{ \frac{R_L' X_1^2}{R_L'^2 + (X_1 - X_L)^2} \right\} \quad (78)$$

$$x_2'' = \frac{X_1}{2} \left\{ \frac{X_L X_1 - X_L^2 - R_L'^2}{R_L'^2 + (X_1 - X_L)^2} \right\} \quad (79)$$

따라서 式 (74), (75), (77), (78), (79)에 試驗結果로부터 決定되는 X_0, X_L, R_L' 를 代入하면 X_1, r_2'', x_2'' 를 正確하게 算定할 수 있으며, 또한 X_1, r_2'', x_2'' 의 算定에 따라 式 (52)에서 鐵損에 해당하는 抵抗分 r_0 가 算定된다.

(2) 特性算定을 위한 試驗과 計算法

特性算定을 위하여 1次抵抗測定, 無負荷試驗 및 拘束試驗을 實施하여 그 結果로부터 다음 順序에 따라 定數를 決定하고 決定된 定數值를 使用하여 任意의 slip에 대한 각 特性值를 算定한다.

(a) 1次抵抗測定

1次抵抗은 bridge法에 의하여 測定하고 端子間의 抵抗이 R_1 , 그 때의 溫度가 $t[^\circ\text{C}]$ 이면 基準卷線溫度 $T[^\circ\text{C}]$ 에서의 1次抵抗 r_1 은

$$r_1 = R_1 \frac{234.5 + T}{234.5 + t} [\Omega] \quad (80)$$

으로 計算한다. 여기서 T 의 값⁷⁾은 A, B, E種 絕緣때 $75[^\circ\text{C}]$, F, H種 絕緣때에는 $115[^\circ\text{C}]$ 이다.

(b) 無負荷試驗

定格周波數를 維持하면서 定格電壓보다 多少 높은 電壓에서 부터 1次電壓을 變化시켜 定格速度를 維持하는 最低值까지의 各 點에서 電壓, 電流, 入力, 그리고 이 試驗때의 溫度에 있어서의 1次抵抗 r_{10} 를 測定한다. 定格電壓 V 에서의 電流를 I_0 , 入力を W_0 라하면

$$X_0 = \sqrt{\left(\frac{V}{I_0}\right)^2 - \left(\frac{W_0}{I_0^2}\right)^2} \quad (81)$$

가 된다. 그리고 入力電壓과의 關係를 나타내는 曲線을 延長하여 機械損 W_{ML} 을 分離한다.

(c) 拘束試驗

定格電流를 흘려 拘束試驗을 實施하여 그 때의 電壓 V_s , 電流 I_s , 入力 W_s 및 拘束試驗때의 溫度에 있어서의 1次抵抗 r_{1s} 을 測定한다. 이 結果로부터

$$R_L' = \frac{W_s}{I_s^2} - r_{1s} \quad (82)$$

$$X_L = \sqrt{\left(\frac{V_s}{I_s}\right)^2 - \left(\frac{W_s}{I_s^2}\right)^2} \quad (83)$$

을 計算한다.

이들 試驗結果로부터 求한 X_0, R_L', X_L 을 式(74), (75), (76), (77), (79)에 代入하여 X_1, x_2'' 를 求한다.

抵抗值에 대해서는 拘束試驗때의 溫度에 있어서의 값을 基準卷線溫度에 換算하기 위하여 式(78)에 r_1/r_{1s} 을 곱하여

$$r_2'' = \frac{1}{2} \left\{ \frac{R_L' X_1^2}{R_L'^2 + (X_1 - X_L)^2} \right\} \frac{r_1}{r_{1s}} \quad (84)$$

로서 算定한다. 또한 無負荷試驗때의 溫度에 換算한 抵抗值

$$r_2'' = \frac{1}{2} \left\{ \frac{R_L' X_1^2}{R_L'^2 + (X_1 - X_L)^2} \right\} \frac{r_{1e}}{r_{1s}} \quad (85)$$

를 使用하여

$$\frac{r_0}{2} = \frac{W_0}{I_0^2} - r_{10} - \frac{r_2'' \left(\frac{X_1}{2}\right)^2}{\left(\frac{r_2''}{2}\right)^2 + \left(\frac{X_1}{2} + x_2''\right)^2} \quad (86)$$

으로 $r_0/2$ 를 求한다.

이상의 結果로부터 그림 4의 等價回路의 각 定數值가 決定되면 각 特性值를 容易하게 算定할 수 있는데 slip S 에 대한 각 特性值를 다음 順序에 따라 算定한다.

$$\dot{Y}_{2p} = g_{2p} - jb_{2p} = \frac{\frac{r_2''}{S}}{\left(\frac{r_2''}{S}\right)^2 + (x_2'')^2} - j \frac{x_2''}{\left(\frac{r_2''}{S}\right)^2 + (x_2'')^2} \quad (87)$$

$$\dot{Y}_{2n} = g_{2n} - jb_{2n} = \frac{\frac{r_2''}{2-S}}{\left(\frac{r_2''}{2-S}\right)^2 + (x_2'')^2} - j \frac{x_2''}{\left(\frac{r_2''}{2-S}\right)^2 + (x_2'')^2} \quad (88)$$

$$\dot{Y}_0 = g_0 - jb_0 = \frac{\frac{r_0}{2}}{\left(\frac{r_0}{2}\right)^2 + \left(\frac{X_1}{2}\right)^2} - j \frac{\frac{X_1}{2}}{\left(\frac{r_0}{2}\right)^2 + \left(\frac{X_1}{2}\right)^2} \quad (89)$$

$$\dot{Y}_{r\phi} = g_{r\phi} - jb_{r\phi} = (g_{2p} + g_0) - j(b_{2p} + b_0) \quad (90)$$

$$\dot{Y}_{Tn} = g_{Tn} - jb_{Tn} = (g_{2n} + g_0) - j(b_{2n} + b_0) \quad (91)$$

$$\dot{Z}_{Tp} = \gamma_{Tp} + jx_{Tp} = \frac{g_{Tp}}{g_{Tp}^2 + b_{Tp}^2} + j \frac{b_{Tp}}{g_{Tp}^2 + b_{Tp}^2} \quad (92)$$

$$\dot{Z}_{Tn} = \gamma_{Tn} + jx_{Tn} = \frac{g_{Tn}}{g_{Tn}^2 + b_{Tn}^2} + j \frac{b_{Tn}}{g_{Tn}^2 + b_{Tn}^2} \quad (93)$$

$$\dot{Z}_p = \left(\frac{\gamma_1}{2} + \gamma_{Tp} \right) + jx_{Tp} \quad (94)$$

$$\dot{Z}_n = \left(\frac{\gamma_1}{2} + \gamma_{Tn} \right) + jx_{Tn} \quad (95)$$

이들 計算으로 부터 求한 Z_p, Z_n 은 各各 正相 및 逆相 impedance 이므로

$$1次電壓 I_1 = V \left(\frac{1}{\sqrt{(\gamma_1 + \gamma_{Tp} + \gamma_{Tn})^2 + (x_{Tp} + x_{Tn})^2}} \right) [A] \quad (96)$$

$$力率 \cos\theta = \frac{\gamma_1 + \gamma_{Tp} + \gamma_{Tn}}{\sqrt{(\gamma_1 + \gamma_{Tp} + \gamma_{Tn})^2 + (x_{Tp} + x_{Tn})^2}} \times 100 [\%] \quad (97)$$

$$1次入力 P_1 = I_1^2 (\gamma_1 + \gamma_{Tp} + \gamma_{Tn}) [W] \quad (98)$$

$$正相分 torque T_p = I_1^2 \gamma_{Tp} \frac{g_{2p}}{g_{Tp}} [Syn. Watt] \quad (99)$$

$$逆相分 torque T_n = I_1^2 \gamma_{Tn} \frac{g_{2n}}{g_{Tn}} [Syn. Watt] \quad (100)$$

$$合成 Torque T = T_p - T_n [Syn. Watt] \\ = (T_p - T_n) \frac{0.975}{N_s} [kg \cdot m] \\ N_s: 同期速度 [r \cdot p \cdot m] \quad (101)$$

$$出力 P_0 = T(1-S) - W_{ML} [W] \quad (102)$$

$$效率 \eta = \frac{P_0}{P_1} \times 100 [\%] \quad (103)$$

으로 하여 各 特性值를 算定한다.

4. 實測值와의 比較

100[V], 400[W], 4極, 60[C/S]의 condensenser 始動單相誘導電動機에 대하여 固定子卷線의 抵抗測定, 無負荷試驗, 拘束試驗을 하여 다음과 같은 結果를 얻었다.

固定子卷線의 抵抗測定 : 0.8621[Ω], (17, 85°C)

無負荷試驗 : 電流 4,305[A], 入力 85.375[W], 力率 19,83[%], 固定子卷線의 抵抗 0,9085[Ω] (31, 75°C), 機械損 5.15[W]

拘束試驗 : 電流 7,072[A], 入力 136,393[W], 力率 70,92[%], 固定子卷線의 抵抗 1,0112[Ω] (61, 69°C)

溫度는 抵抗法에 의하여 測定한 것이다. 이들 測定值를 使用하여 圖式的으로 特性을 算定한 것, 그리고 定數를 決定하여 特性을 算定한 것과 渦電流制動型電力計로서 實測한 것을 比較하면 그림 11과 같이 된다.

이 세가지의 結果는 比較的 一致하므로 두 本논문의 特性算定法이 實用上 妥當함을 알 수 있으며 또한 두 算定法이 거의 差異가 없음을 알 수 있다.

5. 結 論

(1) 圖式的特性算定法에 있어서 固定子電流의 等式을 簡單化한것이 誤差의 한 原因이 되겠지만, 1次 및 2次漏洩 reactance 를 分離하지 않은 等價回路를 作成하고 固定子電流를 $V/Z_{ps}, V/Z_{ns}$ 의 函數로서 表示한 結果 1次漏洩 reactance 를 몰라도 作成할 수 있는 對稱三相誘導電動機의 T型圓線圖를 使用하여 單相誘導電動機의 特性을 圖式的으로 相當히 正確하게 算定할 수 있게 되었다.

(2) 電動機定數決定에 의한 特性算定法에 있어서 各種原因으로 因하여 變化²⁾하는 定數를 一定不變이라고 한 것이 誤差의 한 原因이 되겠지만 뚜렷한 定數決定法이 없어서 電動機의 解析을 困難하게 했던것이, 1次 및 2次漏洩 reactance 를 分離하지 않은 等價回路를 作成함으로써 特性算定에 必要한 各 定數를 決定할 수 있게 되었으며 이에 따라 正確한 特性值를 算定할 수 있게 되었다.

(3) 磁路의 磁氣飽和, 空隙磁束의 高調波成分, 漂游 負荷損 등을 考慮하지 않은것 및 無負荷試驗에서 slip 를 零으로 한 것 등이 두 特性算定法에 있어서 誤差의 原因이 될런지 모르나 實用上 相當히 妥當한 것이다.

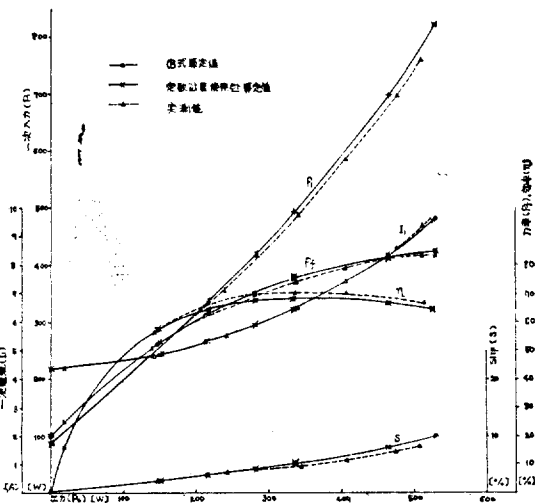


그림 11. 特性算定法에 의한 特性曲線
Fig 11. Performance curves of 400W, 4 poles capacitor start motor.

附 錄

1. $K > 0$ 의 證明

式 (55)로 부터

$$(X+x)^2 = \frac{2X^2 r}{R_L'} - r^2 \quad (附1)$$

이때 式 (53)으로 부터

$$X_0 = 2X - \frac{4(X+x)X^2}{r^2 + 4(X+x)^2} \quad (附2)$$

이코 또 式 (56)으로 부터

$$X_L = 2X - \frac{2(X+x)X^2}{r^2 + (X+x)^2} \quad (附3)$$

이므로 式 (附1)~(附3)에 의하여

$$X_0 - X_L = \frac{2(X+x)r(4X^2 - 3rR_L')R_L'}{2r^2(8X^2 - 3rR_L')} \quad (附4)$$

로 되는데 一般的으로 $X+x > r$ 이니

$$\begin{aligned} X_0 - X_L &> \frac{2r \cdot r(4X^2 - 3rR_L')R_L'}{2r^2(8X^2 - 3rR_L')} \\ &= \frac{R_L'}{2} \left(1 - \frac{3rR_L'}{8X^2 - 3rR_L'} \right) \end{aligned} \quad (附5)$$

로 된다. 그런데 式 (附1)에서 $X+x > r$ 이므로

$$\begin{aligned} r^2 + r^2 &< \frac{2X^2 r}{R_L'} \\ rR_L' &< X^2 \end{aligned} \quad (附6)$$

이다. 따라서

$$X_0 - X_L > \frac{R_L'}{2} \left(1 - \frac{3rR_L'}{8rR_L' - 3rR_L'} \right) = \frac{R_L'}{5} \quad (附7)$$

이때 이 結果

$$\begin{aligned} b &< -\frac{2}{5}R_L' \\ b^2 &> \frac{4}{25}R_L'^2 \end{aligned} \quad (附8)$$

로 되니

$$\begin{aligned} K &> \frac{4C}{27} \left\{ b^2 + \frac{1}{8}(\sqrt{3993} + 59)C \right\} \\ &\left\{ \frac{4}{25}R_L'^2 - \frac{1}{8}(\sqrt{3993} + 59) \frac{R_L'^2}{4} \right\} \\ &= \frac{4}{27} \cdot \frac{R_L'^2}{4} \left\{ b^2 + \frac{1}{8}(\sqrt{3993} + 59) \frac{R_L'^2}{4} \right\} \\ &\left\{ \frac{4}{25} - \frac{\sqrt{3993} + 59}{32} \right\} R_L'^2 > 0 \end{aligned} \quad (附9)$$

이다.

2. Z 가 正의 實數가 되는 理由

式 (67)에서

$$\omega = Z^3 - \left(\frac{b^2}{3} + 2c \right) Z + \left(\frac{2}{27}b^3 + \frac{5}{3}bc \right) \quad (附10)$$

라 하면, $b < 0, c > 0$ 이므로

$$[\omega]_{r=0} = \frac{2}{27}b^3 + \frac{5}{3}bc < 0 \quad (附11)$$

이코

$$\begin{aligned} [\omega]_{r \rightarrow +\infty} &= \left\{ Z^3 \left[1 - \frac{\left(\frac{b^2}{3} + 2c \right)}{Z^2} + \frac{\left(\frac{2}{27}b^3 + \frac{5}{3}bc \right)}{Z^3} \right] \right\} \\ r \rightarrow +\infty &= +\infty \end{aligned} \quad (附12)$$

이니 $\omega = 0$, 즉 式 (67)은 $[0, +\infty]$ 에서 적어도 하나의 實根을 갖는다. 그런데 Z 는 하나의 實根만 가지므로 式 (67)은 오직 하나의 陽의 實根을 가진다.

參考文獻

- (1) A. Ozawa, "The Calculating Method of Characteristic of Single-Phase Induction Motor" JIEEJ Vol. 86-6, No 933, pp. 949~958, Jun. 1966
- (2) A. Ozawa, "Analysis of Single-Phase Induction Motor by use of Cross-Field Theory" JIEEJ Vol. 90, No. 6, pp. 1113~1122, Jun 1970.
- (3) K. Hayashi, "The Equivalent Circuits and the Graphically Calculating Method of Characteristics of Single phase Induction Motor" JIEEJ Vol. 80, No. 864, pp. 1244~1251, Sept. 1960.
- (4) S. Yamamura, "T-type Equivalent Circuit and New Method of Drawing the circle Diagram of the Three-phase Induction Motor" JIEEJ Vol. 74, No. 789, pp. 676~679, June. 1954.
- (5) K. Kato & K. Tsuboi, "On the Form of the Magnetic Field of a Single Phase Induction Motor vs. its Slip" JIEEJ Vol. 91, No. 4, pp. 698~704, April. 1971.
- (6) 高田勇次郎, "電氣機器Ⅱ" OHM社(1963)p. 303.
- (7) 磯部直吉, "電氣機器Ⅱ" OHM社(1969), p. 38.