

二次勵磁起電力에 의한 Twin Stator Induction Machine의 Torque 特性解析

An Analysis of the Torque Characteristics of a Twin Stator Induction Machine by 2nd Excitation

黃 煥 文*
(Young Moon Hwang)

[ABSTRACT]

An analysis of the torque characteristics is to be expected of a twin stator induction machine with 2nd excitation is made.

A twin stator induction machine has, through common rotor, 2nd exciting action one set to another relatively, but there are not its effect on the torque characteristics.

However, by combination with the external fixed or simpled 2nd exciting e.m.f, variable torque-speed drives can be effectively achieved.

1. 서 론

Twin Stator Induction Machine은 B.H. Smith氏에 의하여 試圖된 것으로, 주요 목적은 籠型誘導機의 電源電壓調整을 원활하게 그리고 간단히 하기 위하여 誘導機 자체가 Voltage Regulation을 겸하게 한 것으로, 두 sets의 stator와 한 set의 Common Rotor를 갖인 간단한 구조에서 한쪽 Stator의 基準軸을 相對的으로 調整하게 한 것이다.

綜合的인 特性은 一般誘導機에서 電源電壓을 調整한 때와 거의 같으나, 다만 Twin Stator型에서는 각 set가 항상 定格電壓이 가하여져 있으므로 1次勵磁特性이 一定하다는 점이다. 그러나 각 set의 Stator의 개별적 特性은 전혀 다르다. Stator電流는 거의 같은 정도로 분담되나, 入力는 두 Stator winding의 位置角 ϕ 에 따라 그 분담이 다르며, 때에 따라서는 한쪽이 發電機作用을 한다.

따라서 力率도 각각 다른 값을 가지고 변화한다. 그러나 2次 Rotor winding은 共同이므로 여기서 나오는 Torque는 $\sqrt{1-\phi}$ 倍의 1次 電壓을 調整한 경우와 전혀 같다.

이를 2次勵磁作用에서 살펴보면, 각 Stator가 차지하는 Rotor는 相互間 2次誘起起電力(SE_2)의 2次勵磁作用을 받고 있다고 볼 수 있으며, 다만 位相角이 ϕ 에 의하여 변화한다.

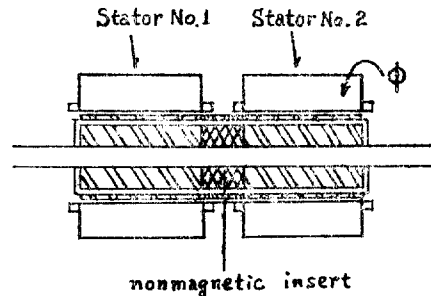


그림 1. 籠型회전자로 연결된 twin 유도전동기

Fig 1. Schematic of twin stator common squirrel-cage rotor, induction machine

여기서 일반적인 2次勵磁效果로서의 Torque特性曲線의 偏倚가 생기지 않는 것은 두 Stator에 의하여 생긴 2次誘起起電力이 같고, 그 相差角 ϕ 의 변화가 동시 동일할정도 생기기 때문이다. 즉 Energy 흐름으로 볼 때 한쪽으로 들어간 電氣的 Energy 중 2次勵磁效果로 다른 Stator로 흘러 들어 간 成分이 Stator側에서 Feedback 하기 때문에 그것으로 인한 機械的 Energy는 相互相殺되기 때문이다.

本 論文에서는 이 Feedback되는 Energy의 흐름을 Rotor側에 別途로 2次勵磁起電力을 가하여 制御함으로써 Torque-speed 特性曲線을 調整할 수 있음을 數式的으로 解析하였다. Single Stator型에서도 2次勵磁에 대한 效果가 나타남은 사실이나, 이때는 그 制御方式이

* 正會員 : 釜山大學校工科大學副教授

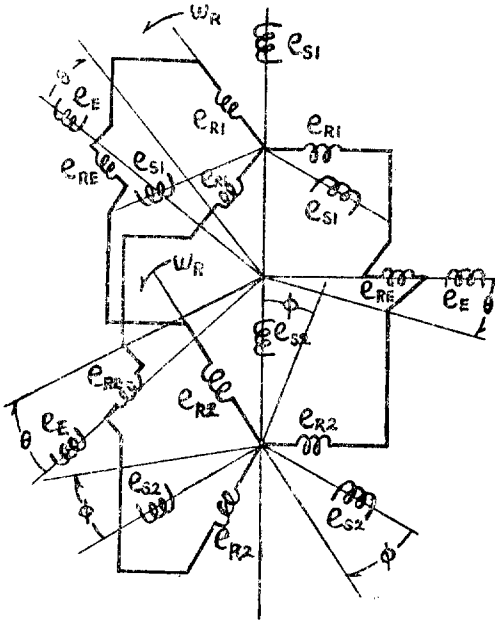


그림 2. 2차여자를 갖인 유도전동기의 전기회로
Fig 2. Electrical circuit of twin stator induction motor with 2nd excitation.

2차勵磁機側에서만 행하여지되, 그 Mechanism이 상당히 복잡하나, Twin Stator型에서는 Twin Stator側에서의相差角 ϕ 의 변화에 의하여도 2차勵磁效果가 나타남으로 2차勵磁機를單純化시킬 수 있게 된다.

2. Twin Stator Induction Machine의 Volt-Ampere Equation의 誘導

지금 Sinusoidal steady-state $\alpha\beta$ - aq equation⁽¹⁾은 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{pmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \\ V_d \\ V_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R+jwL & 0 & jwM & 0 \\ 0 & R+jwL & 0 & jwM \\ jwM & wMn & r+jwl & wl n \\ -wMn & jwM & -wl n & r+jwl \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ I_d \\ I_q \end{pmatrix} \dots (1)$$

나단 (1)식은 다음과 같은 Assumption를 갖는 誘導機의 等式으로, 直軸 및 橫軸成分으로 固定子($\alpha\beta$ -axis)와 回轉子(dq -axis)에 관하여 풀이한 Matrix equation이다.

Assumption:

- 1) Stator와 Rotor의 Winding은 Balanced winding 되었다.
- 2) Stator winding과 Rotor winding 사이의 Mutual inductance는 두 Winding의 軸사이의 電氣角의 餘弦函數이다.

- 3) Air gap는 smooth uniform air-gap이다.
- 4) 1次印加電壓은 3相平衡電壓이다.
- 5) Saturation, Hysteresis 및 Eddy current는 무시한다.
- 6) Infinited Bus에 연결되어 있다.

여기서

- R: Stator resistance
- r: Rotor resistance
- L: Stator Self-inductance
- l: Rotor Self-inductance
- M: Stator winding과 Rotor winding 사이의 Mutual-inductance
- n: Synchronous에 대한 Machine speed

(1)식을 電流에 관하여 Matrix Transform에 의하여 풀이하면,

$$\begin{pmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \\ I_d \\ I_q \end{pmatrix} = \frac{1}{Y_0} [G] \begin{pmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \\ V_d \\ V_q \end{pmatrix} \dots (2)$$

$$[G] \equiv \begin{pmatrix} Y_1 & Y_2 & Y_3' & Y_4' \\ -Y_2 & Y_1 & -Y_4' & Y_3' \\ Y_3 & Y_4 & Y_1' & Y_2' \\ -Y_4 & Y_3 & -Y_2' & Y_1' \end{pmatrix} \dots (3)$$

여기서

$$Y_0 = w^4 L^2 l^2 \{ [(1-n^2)\sigma^2 - (k_s + k_r) - 2k_s k_r \sigma + k_s^2 (k_r^2 + n^2)] + j[2k_s k_r (k_s + k_r) - 2(1-n^2)\sigma k_s - 2\sigma k_r] \}$$

Matrix의 各要素는

$$\begin{aligned} Y_1 &= w^3 L l^2 \{ [k_s (k_r^2 + n^2) - (k_s + k_r + \sigma k_r)] + j[k_r (2k_s + k_r) - (1-n^2)\sigma] \} \\ Y_2 &= jw^3 L l^2 n (1-\sigma) k_r \\ Y_3 &= w^3 L l M \{ [k_s (1-n^2) + k_r] + j[(1-n^2)\sigma - k_s k_r] \} \\ Y_4 &= -w^3 L l M n \{ k_s k_r + jk_s \} \\ Y_1' &= w^3 L l^2 \{ [k_s^2 k_r - (k_s + k_r + \sigma k_s)] + j[k_s (2k_r + k_s) - \sigma] \} \\ Y_2' &= -w^3 L^2 l n \{ [k_s^2 - \sigma] + j[k_s + \sigma k_s] \} \\ Y_3' &= w^3 L l M \{ [k_s + k_r] + j[\sigma - k_s k_r] \} \\ Y_4' &= -w^3 L l M \{ \sigma - jk_s \} \end{aligned}$$

단,

$$\begin{aligned} \sigma &: \text{Leakage coefficient} = 1 - \frac{M^2}{Ll} \\ k_s &: \text{Stator time constant의 逆數} = \frac{R}{wL} \\ k_r &: \text{Rotor time constant의 逆數} = \frac{r}{wl} \end{aligned}$$

지금 Twin Stator induction machine의 電氣의 Torque를 구하기 위하여, Voltage matrix 및 Ampere matrix를 整理함에 있어, 먼저 Torque 方程式을 풀이하면 다음과 같다.

(1)식과 같은 Volt-Ampere 方程式에 표시한 電流 vector로서, 平均 Torque方程式을 나타내면,

$$T_{e,avg} = \text{Re}[PM(I_{\alpha}I_{\beta} - I_{\beta}I_{\alpha})] \dots\dots\dots(4)$$

와 같다. Twin Stator 型에서는 Fig 1, Fig 2에서 보는 바와 같이 두 set의 기계중 No.1측 기계를 基準으로 하여, 印加電壓實効值을 V_s 라 할 때, No. 2측 기계에도 V_s 인 印加電壓이 가하여 지나, Rotor에 대하여는 $V_s e^{j\phi}$ 인 電壓이 印加된것과 같은 效果를 갖는다. 여기서 ϕ 角은 No.1측기계와 No.2측기계의 基準軸과의 電氣角으로 便宜上 No.1측기계의 基準軸에서 180° 인 軸을 $\phi=0^\circ$ 인 軸으로 하면, 이때 No.2측기계에는 $-V_s e^{j\phi}$ 인 等價電壓이 印加되며, 2次勵磁起電力도 같은 방식으로 $\theta=0^\circ$ 인 軸을 결정하면, 실제로는 αf 인 주파수를 갖는 起電力일지라도 $\alpha\beta-dq$ coordinate變換式에서는 $-k_0 V_s e^{j\theta}$ 인 f 인 주파수의 等價電壓으로 된다.

여기서 k_0 는 1次電壓과 2次勵磁電壓과의 實効値比이다.

지금 Twin stator induction machine은 두 sets의 wound type induction machine을 slip-ring을 통하여 連結한 것과 동일한 原理이므로 2次勵磁를 한 경우에는 No.1과 No.2측기계가 각각 $-\frac{1}{2}k_0 V_s e^{j\theta}$ 인 2次勵磁起電力을 갖는 경우와 같으며, 同一한 機械軸에 連動된 두 機의 綜合 Torque는 각 set의 Torque의 합이므로, 각각에 대하여 Torque를 구하여 합하면,

$$T_{twin} = T_{e1} + T_{e2} \\ = PM [\text{Re}(I_{\alpha1}\bar{I}_{\beta1} - I_{\beta1}\bar{I}_{\alpha1}) + \text{Re}(\bar{I}_{\alpha2}\bar{I}_{\beta2} - I_{\beta2}\bar{I}_{\alpha2})]$$

그러나, Twin stator型에서는 common rotor이므로, $I_{\alpha1} = I_{\alpha2} = I_d, I_{\beta1} = I_{\beta2} = I_q$ 이며 위 식은

$$T_{twin} = PM \text{Re}[(I_{\alpha1} + I_{\alpha2})\bar{I}_d - (I_{\beta1} + I_{\beta2})\bar{I}_q] \dots\dots(5)$$

이 된다. \bar{I}_d, \bar{I}_q 는 I_d, I_q 의 conjugate이다.

지금 No.1을 2次勵磁시켰을 때의 Matrix⁽¹⁾는

$$\begin{bmatrix} I_{\alpha1} \\ I_{\beta1} \\ I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \frac{1}{Y_0} [G] \begin{bmatrix} jV_s \\ V_s \\ -j\frac{k_0}{2} V_s e^{j\theta} \\ -\frac{k_0}{2} V_s e^{j\theta} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(6)$$

No.1과 No.1이 同一한 機械이므로 No.2를 2次勵磁시켰을 때의 Matrix는

$$\begin{bmatrix} I_{\alpha2} \\ I_{\beta2} \\ I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \frac{1}{Y_0} [G] \begin{bmatrix} -jV_s e^{j\phi} \\ -V_s e^{j\phi} \\ -j\frac{k_0}{2} V_s e^{j\theta} \\ -\frac{k_0}{2} V_s e^{j\theta} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(7)$$

이 된다. 지금 (6)과 (7)을 합하면,

$$\begin{bmatrix} I_{\alpha1} + I_{\alpha2} \\ I_{\beta1} + I_{\beta2} \\ 2I_d \\ 2I_q \end{bmatrix} = \frac{1}{Y_0} [G] \begin{bmatrix} jV_s(1 - e^{j\phi}) \\ V_s(1 - e^{j\phi}) \\ -jk_0 V_s e^{j\theta} \\ -jk_0 V_s e^{j\theta} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(8)$$

이 된다. (8)식에서 電流에 관한 Matrix를 풀어 (5)식에 대입하면 綜合的인 Torque를 얻는다. 즉

$$T_{e,avg} = \frac{C}{k_r M I D_0} \begin{bmatrix} 2MI(1 - \cos\phi)A_0 \\ + MLk_0^2 \frac{k_s}{k_r} B_0 \\ -Llk_0[\cos\theta - \cos(\phi - \theta)] \\ \left(\frac{k_s}{k_r} A_0 + B_0\right) \\ + Llk_0[\sin\theta + \sin(\phi - \theta)] \\ \left(\frac{\sigma}{k_r} A_0 - k_s B_0\right) \end{bmatrix} \dots\dots(9)$$

여기서

$$C = \frac{Pw(1 - \sigma)}{L} V_s^2 \\ A_r = n[(1 - n^2)A_1 - A_2] + [(1 - n^2)A_3 + A_2] \\ B_0 = [(1 - n^2)A_1 - A_2] - [(1 + n)(A_1 + A_3)] \\ A_1 = \left(\frac{\sigma^2}{k_r^2} + \frac{k_s^2}{k_r^2}\right) \\ A_2 = (k_s^2 + 1) \\ A_3 = \left(\frac{\sigma^2}{k_r^2} + \frac{k_s^2}{k_r^2}\right) + 2\frac{k_s}{k_r}(1 - \sigma) \\ D_0 = [(1 - n^2)\left(\frac{\sigma^2}{k_r^2} - \frac{k_s^2}{k_r^2}\right) - 2\frac{k_s}{k_r}(1 + \sigma) \\ + (k_s^2 - 1)]^2 + 4\left[\frac{k_s}{k_r}(k_s + k_r) - \frac{\sigma}{k_r} - \frac{\sigma}{k_r} \cdot \frac{k_s}{k_r}(1 - n^2)\right]^2$$

단 k_0 , 1次電壓에 대한 2次勵磁電壓比.

(9)식을 考察컨데, Torque 特性의 變化는 1, 2次 Time constante比 $\frac{k_s}{k_r}$ 와 Leakage coefficient와 Time constant의 逆數와 比 $\frac{\sigma}{k_r}$ 의 變數로 되어 있음을 알 수 있으며, 이의 分析은 이 論文의 목적밖의 것이므로 그 결론만 말하면, $\frac{k_s}{k_r}$ 項의 變化는 Torque의 크기를 變化시키되 그 變化値는 微少하나, $\frac{\sigma}{k_r}$ 項의 變化는 Torque特性曲線의 形態를 變化시킨다. 다시 말하면, k_r 의 값이 커지므로 해서 $\frac{\sigma}{k_r}$ 의 값이 變化하면, 이는 Wound type induction motor에서 2次抵抗挿入時의 特性과 같이 比例推移하게 된다.

3. Twin Stator Induction Machine의 Torque 特性

定數值選定 :

(9)식에서는 $\frac{k_s}{k_r}, \frac{\sigma}{k_r}, \sigma$ 의 값에 따라 여러가지 特性曲線을 얻을 수 있으나 일반적 Induction motor에서 갖는 값을 참고 문헌 (3), (4)에 의하여 다음과 같은 두 case에 의하여 選定하였다.

case I : $\frac{k_s}{k_r} = 1, \frac{\sigma}{k_r} = 4, \sigma = 0.05, L = l$

case II : $\frac{k_s}{k_r} = 0.2, \frac{\sigma}{k_r} = 1, \sigma = 0.05, L = l$

여기서 case I은 Wound type induction motor의 일반적인 경우로서, 다만, 1, 2次捲線比가 같은 경우이며 case II는 case I에 2次抵抗을 5배로 한 경우이다.

2次勵磁를 하지 않을때($k_0=0$):

2次勵磁를 하지 않을 때는 순수한 Twin stator induction machine으로서 B.H. Swith氏가 참고문헌(2)에서 다른 방식으로 풀이 하였는데, 變數의 값은 다르나 數式은 동일하다. 즉 (9)식에서 $k_0=0$ 로 하면

$$T_{twin} = \frac{2C}{k_r D_0} (1 - \cos\phi) A_0 \dots\dots\dots (10)$$

로써 이는 Fig 3. Case I에서 보는 바와 같이 一般 Induction motor에 $V_s \sqrt{1 - \cos\phi}$ 의 1次電壓을 가한 경우와 같다.

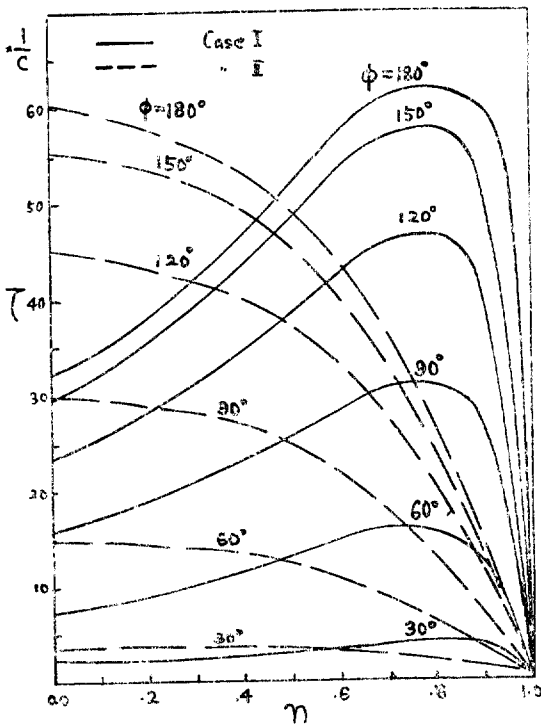


그림 3. 투인 전동기의 토오크 특성곡선
Fig 3. Torque characteristics of a twin stator induction motor

지금 Case II를 고찰컨데, 이는 Twin Stator型에 2次抵抗을 삽입한 것으로, 다시 말하면 起動階級⁽⁴⁾ class D인 Induction motor를 Twin Stator型으로 구성하여 동작시킨 것으로, Rotor에서 熱發散만 잘 처리하면 V-C motor 및 T-S motor 보다 動作이 간편할 것이다. 그러나 위의 motor들도 마찬가지로 이지만 效率이 나쁘고 速度變動率이 큰 것은 2次捲線損失에 따른 것으로, Speed control用으로는 理想的인 것이라고 볼 수 없다.

4. Twin Stator Induction Machine의 2次勵磁

여기서는 一般捲線型 誘導電動機에서 2次勵磁를 하면, 速度變動率이 적은 Torque-Speed 特性을 가지고 速度調整을 할 수 있음에 착안하여, 이를 Twin Stator型에 適用코, 보다 簡便한 조작으로 2次勵磁效果를 할 수 있음을 數理的 分析을 하였다. 일반적으로 2次勵磁機는 대단히 복잡하고 제한조건이 많아 그 조작이 불편하므로 그 사용을 꺼려왔다.

그러나 Twin stator型에는 자체에 2次勵磁作用을 갖고 있으므로, 복잡성과 조작의 불편성을 Twin Stator induction machine에 흡수할 수가 있다. 그래서 여기서는 速度調整操作은 原則的으로 Twin Stator 型側에서 하되, 이때 2次勵磁起電力의 印加範圍를 實効性있는 Case에 대하여 解析하였다.

2次勵磁時的 Torque方程式 :

定數值選定에 있어서는 Case I로 하였는데, 이때 $L=l$ 임으로 (9)식의 Ml, ML, Ll 項은 각각 $Ml, MI, MI/\sqrt{1-\sigma}$ 로 되어 (9)식은 다음과 같이 쓸 수 있다. 즉

$$T_{twin-2} = \frac{C}{k_r D_0} \left\{ \begin{aligned} &2(1 - \cos\phi)A_0 \\ &+ k_0^2 B_0 \\ &- \frac{k_0}{\sqrt{1-r}} [\cos\theta - \cos(\phi - \theta)] \\ &(A_0 + B_0) \\ &+ \frac{k_0}{\sqrt{1-r}} [\sin\theta + \sin(\phi - \theta)] \\ &(\frac{\sigma}{k} A_0 - k_r B_0) \end{aligned} \right\} \dots\dots (11)$$

여기서 앞서 설명한바와 같이 k_0 는 No.1機의 基準電壓에 대한 2次勵磁電壓比이며, ϕ 및 θ 는 각각 基準電壓軸보다 電氣角 180° lag한 軸을 基準으로 한 No.2 機의 移動角 및 2次勵磁電壓의 位相角이다.

Case I-1: $k_0=1, \theta=0$ 인 경우

지금 $k_0=1, \theta=0$ 인 2次勵磁電壓을 가하여 ϕ 를 $0^\circ \sim 180^\circ$ 까지 變化시킨 결과 Fig.4와 같다. 즉 $n=0.6 \sim 1.4$ 까지는 有效한 Torque 特性을 가지는데, $\frac{\sigma}{k_r}$ 의 값이 적어지면(曲線上에서 표시되지 않았음) 그 範圍는 넓어지며, $n=1$ 이상인 경우에는 2次勵磁入力이 증가한다.

Case I-2: $k_0=1, \theta=90^\circ$ 인 경우.

이때는 $n=1$ (同期速度)이상에서 positive torque가 생기지 않으며, $\phi=100^\circ \sim 180^\circ$ 까지는 $n=0.6$ 까지 有效한 Torque 特性을 갖게 되나, (Fig.5), $\phi=90^\circ$ 이하에서는 速度變動率이 증가하며, Torque의 크기가 감소한다. 그리고 $\theta=0^\circ \sim 90^\circ$ 사이의 Torque 特性을 case I-1과 case I-2의 中間變화과정으로 有效한 Torque 特性 曲線이 $n=1.4$ 에서 $n=0.6$ 의 方向으로 偏倚한다. 이는 case I-3의 경우, 즉 $k_0=1, \theta=180^\circ$ 를 보면 알 수 있을

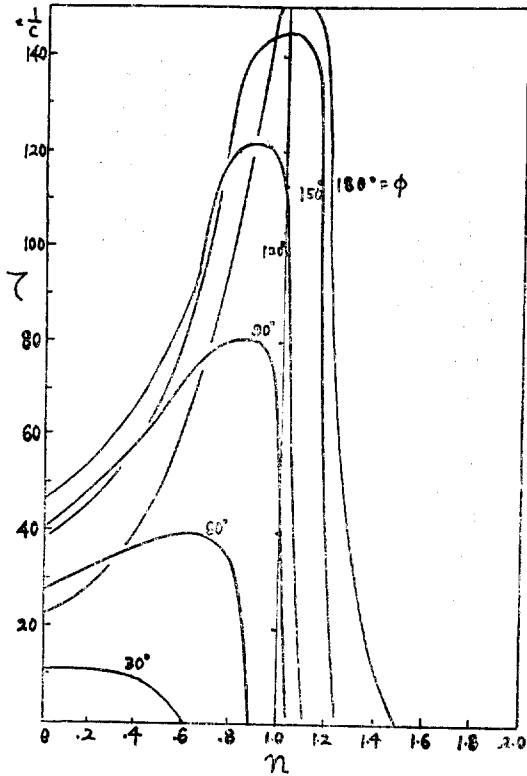


그림 4. 2차여자전압, $k_0=1$, $\theta=0$ 에 의한 투인 유도 전동기의 포지티브 토오크곡선.

Fig. 4. Positive torque curve of a twin stator induction motor with 2n exciting e.m.f $k_0=1$, $\theta=0$

것이다. (計算値참조-Table 1, 2)

Case I-3: $k_0=1$, $\theta=180^\circ$ 인 경우

이때는 $\phi=0\sim 120^\circ$ 에서 positive torque를 생각지 아니하고, $\phi=150^\circ\sim 240^\circ$ 에서 Torque의 크기는 적어지나, $n=0\sim n=0.6$ 까지 사이에 速度變動률이 적은 Torque 특성을 갖는다. 일반적으로 pasive torque는 n 가 적어지면 따라서 적어지므로 이範圍도 有效한 動作範圍가 될 것이다. (Fig.6)

Case I-4: $k_0=1$, $\theta=200^\circ\sim\theta=330^\circ$ 인 경우

이때는 $n=1$ 이상에서 positive torque가 나타나나, $n=0$ 즉 起動點에서 positive torque가 나타나지 않아, 有效치 못한 範圍가 될 것이다. (計算値참조-Table 3, 4)

Case I-5: $\theta=90^\circ$ 에서 k_0 를 1.6, 1.0, 0.6으로 變化시킨 경우

지금, θ 의 값은 變換시켜 보았으나, 完전한 것이 되지 못하여 k_0 의 값을 變換시켜 보되, θ 의 값을 變換시킬때 有效한 범위가 $\theta=0\sim\theta=180^\circ$ 사이이므로 $\theta=90^\circ$

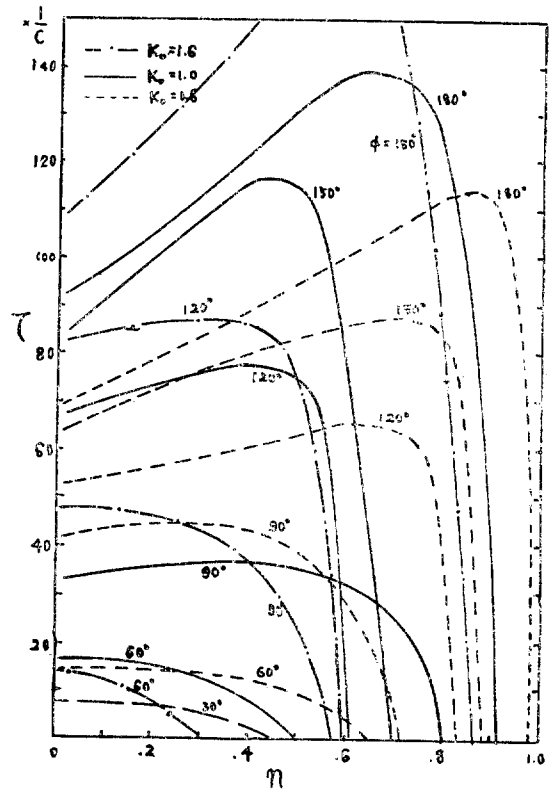


그림 5. 2차여자 유기전압, $k_0=1$, $\theta=90^\circ$ 일때의 투인 전동기의 포지티브 토오크곡선.

Fig. 5. Positive torque curve of twin stator induction motor with 2nd exciting e.m.f $k_0=1$, $\theta=90^\circ$

일 때만 구하여 본 결과 Fig. 5와 같다. 즉 k_0 가 커질수록 Torque 特性은 改善됨을 알 수 있으며, 이는 2次勵磁機의 작용이 증대됨으로 해서 생긴 결과이다. 여기서 2次勵磁機의 容量 및 Energy의 需給關係가 문제시 됨을 알 수 있다. 다시 말하면, Energy의 需給을 Twin Stator축의 機械軸에서 할 것인지, 다른 Energy源에서 할 것인지에 따라 特性의 變化를 갖게 될 것이다.

Case II - 총괄

Rotor抵抗을 증가시킬 경우, 즉 $\frac{k_r}{k_r} = 0.2$, $\frac{\sigma}{k_r} = 1$ 일때는 2次勵磁를 하지 아니하여도 速度變動률은 크지만 速度調整은 가능하다. 여기에서 이런 경우에 2次勵磁의 效果가 어떤가를 살펴보면, 결론적으로 말하면, Rotor抵抗의 증가에 비해서 2次勵磁效果는 줄어든다. 즉 (11)식에서 제2항, 제3항, 제4항은 모두 2次勵磁效果를 나타내는 항으로, Fig. 7에서 보는 바와 같이 이들 절대값이 감소하기 때문인 것이다. 제2항은 2次勵磁

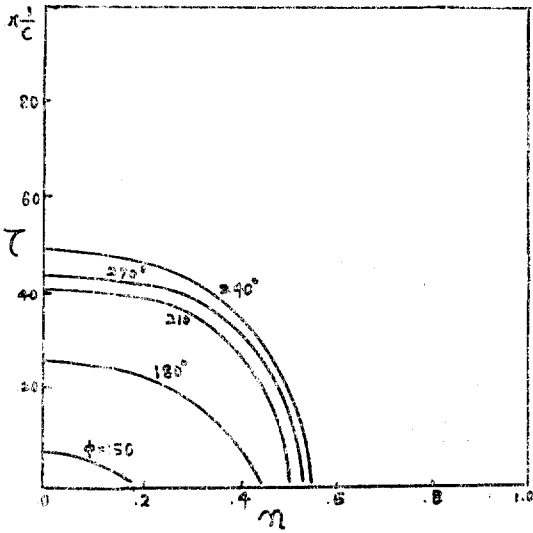


그림 6. 2차여자 유기전압 $k_1=1$, $\theta=180^\circ$ 일때의 두 인 전동기의 포지티브 토오크곡선.
 Fig. 6. positive torque curve of twin stator type ($\phi=150^\circ-240^\circ$) [2nd excitation $k_0=1$, $\theta=180^\circ$].

電壓만에 의하여 逆 Torque를 발생하는 향이며, 제3, 제4항은 No.1, No.2축 기계의 air-gap flux와의 相互關係에 의하여 발생하는 Torque로서, θ 및 ϕ 의 角을 調整함으로써 Torque 特性을 여러가지로 變化시켜주는 主된 factor이다.

5. 결 론

1) Twin stator induction machine에서는 1次電壓調整 및 2次勵磁機操作의 역할을 생략 및 간소화할 수 있다.

2) 2次勵磁起電力의 位相을 1次印加起電力에 대하여 $180^\circ \sim 360^\circ$ (즉 $\theta=0^\circ \sim 180^\circ$)로 하였을 때만 實効正方向

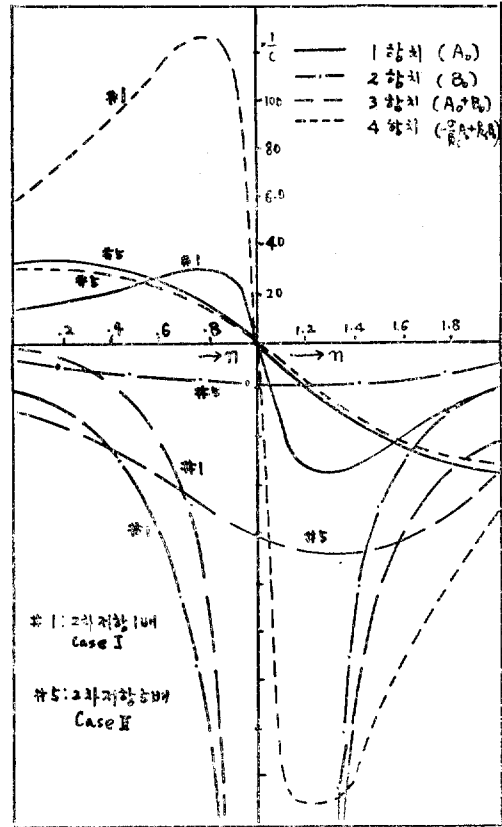


그림 7. 회전자 권선 저항을 $\frac{\sigma}{k_r}=4$ 에서 1로 변화시킬때의 2차여자에 의한 토오크곡선
 Fig. 7. Torque curves by 2nd excitation, when rotor winding resistance changes: from $\frac{\sigma}{k_r}=4$, to $\frac{\sigma}{k_r}=1$.

참조 계산치

Table 1. T_r of $K_0=1$, $\theta=30^\circ$

[1/C]

ϕ	n	0.0	0.4	0.8	1.0	1.4	1.8
0°		-3.04	-19.38	-77.40	-159.50	-54.01	-15.44
30°		10.65	6.66	-49.02	-180.40	-163.25	-47.81
60°		33.08	40.21	1.60	-157.46	-163.54	-78.27
90°		53.24	82.30	66.34	-96.82	-245.71	-119.55
120°		67.69	94.34	122.44	-14.78	-183.56	-103.54
150°		77.14	100.39	154.08	66.74	-248.82	-91.55
180°		57.19	88.87	160.28	125.86	-94.05	-65.97

Table 2. T_e of $K_0=1, \theta=60$

[1/C]

ϕ \ n	0.0	0.4	0.8	1.0	1.4	1.8
0°	-8.04	-19.38	-77.40	-159.50	-54.01	-15.44
30°	6.21	-1.62	-72.46	-100.36	-172.47	-43.67
60°	28.62	29.81	-37.00	-239.56	-190.53	-85.77
90°	53.24	66.50	20.08	-216.58	-188.95	-98.67
120°	75.37	98.60	82.76	-155.96	-267.64	-139.94
150°	83.70	117.51	134.64	-73.90	-259.94	-141.49
180°	91.41	118.17	161.74	7.62	-211.71	-123.80

Table 3. T_e of $K_0=1, \theta=240$

[1/C]

ϕ \ n	0.0	0.4	0.8	1.0	1.4	1.8
0°	-8.04	-19.38	-77.40	-159.50	-54.01	-15.44
30°	-17.99	-30.90	-73.94	-130.36	-51.35	6.17
60°	-23.62	-45.31	-86.84	-79.44	39.31	30.19
90°	-37.16	-58.74	-112.16	-102.42	-5.47	18.37
120°	-39.23	-67.56	-143.48	-163.04	30.00	34.94
150°	-29.78	-69.45	-172.40	-245.10	-9.34	18.39
180°	-23.19	-63.87	-191.10	-326.62	-69.15	-5.94

Table 4. T_e of $K_0=1, \theta=300$

[1/C]

ϕ \ n	0.0	0.4	0.8	1.0	1.4	1.8
0°	-8.04	-19.38	-77.40	-159.50	-54.01	-15.44
30°	-10.33	-18.70	-50.32	-78.00	-61.55	2.27
60°	0.00	0.21	1.38	4.08	1.94	0.72
90°	-4.06	-2.82	-61.34	63.22	40.81	17.27
120°	-10.57	-14.10	8.02	84.14	73.66	33.98
150°	-23.23	-30.33	-21.84	61.19	91.41	46.36
180°	-33.19	-47.99	-64.50	0.54	85.97	51.08

Torque를 갖는다.

3) 2次勵磁起電力의 크기는 그 크기가 클 수록 좋은 Torque特性을 갖게 된다.

4) 2次勵磁效果를 크게 하기 위하여는 Rotor 抵抗을 될수 있는한 줄여야 하며, 이때 速度變動率도 아울러 改善된다.

5) 効率 및 速度變動率이 나쁘더라도 상관없는 경우에는 2次勵磁를 생략하는 대신 Rotor 抵抗을 증가시켜, Rotor 抵抗電壓降下 및 ϕ 의 調整으로 넓은 範圍의 速度 調整을 할 수 있다.

끝으로 이상의 解析結果가 이 方面을 연구하는 분들 에게 도움이 되기를 비하며, 보다 효율적이고 간편한 2차여자기의 고안 및 해석을 약속하는 바이다.

Reference

1. Jerome Meisel: Principles of Electromechanical Energy Conversion, 1966, p. 553, p. 443
2. B.H.Smith: IEEE Trans on Power apparatus and system, 1966. 2. Theory and Performance of a Twin Stator Induction Machine.
3. Waldo. V. Lyon: Transient Analysis of Alternating Current Machinery, 1954, p. 82~p. 122
4. Fitzgerald, Kingsly: Electric Machinery, 1952 p. 413, p. 417