

論 文
15-2-1

2次勵磁起電力에 의한 誘導電動機의 特性

(Characteristics of Induction Motor by
Changing the Second Exciting E.M.F.)

黃 煥 文*
(Hwang Yung Moon)

ABSTRACT

It is well known that the speed of induction motor can be controlled in wide range by changing the second exciting *e.m.f.* of rotor circuit, but that is well not practised because of its complicated system.

In order to simplify such a system, the Krämer system of which silicon rectifier substitutes for synchronous converter has analyzed in this paper.

The result of this investigation show that in this system, only the equivalent synchronous speed is changed by second exciting *e.m.f.*, but the mechanical output power, torque and power factor is not changed, and that this system is able to compensate the regulated speed on account of the load changed.

1. 緒 論

誘導電動機의 速度制御方法으로는 2次回路抵抗挿入法, 電源周波數에 의한 方法, 極數變換에 의한 方法과 2次勵磁起電力의 變化에 의한 方法等이 있다. 2次回路抵抗挿入法과 極數變換에 의한 方法은 制限된 速度制限밖에 할 수 없으며, 電源周波數에 의한 方法은 아직 實用化되지 못하였으며, 이것은 또한 負荷에 의한 速度變動率이 一定치 못하다. 여기서 論하고자하는 2次勵磁起電力에 의한 方法은 速度制御가 광범위하게 行하여지고, 負荷特性도 또한 良好하나 附帶裝置가 特殊器를 포함하고 있어 그 利用도가 높지 못하다.

筆者는 이중 synchronous converter 와 D.C machine를 사용한 2次勵磁에 의한 定出力型 Krämer System에서, Synchronous converter 대신, silicon rectifier의 三相全波回路를 사용한 定出力電動機에 대한 理論的考察과 實

驗의 結果를 記述하여 이의 利用範圍 및 利用度를 넓히 고져 한다.

2. 2次勵磁起電力에 의한 卷線型誘導電動機의 理論的 特性

Induction motor의 2次回路에 抵抗을 삽입함으로써 制限된 速度制御를 하는 경우에서는 동시에 機械的出力 및 Torque의 低減을 초래하는데, 이것은 2次挿入抵抗에 의한 熱的損失에 起因하는 것으로, 이 熱的損失은 速度變化에 무관계하다. 즉 速度變化는 2次回路抵抗에 sf [c/s]

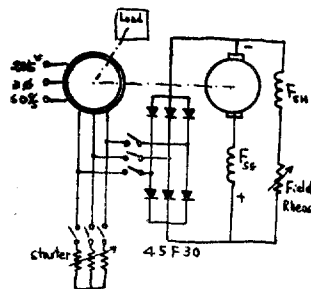


그림 1. Induction motor의 2次勵磁에 의한 速度制御方式

인 電流가 흐르고, 이 電流에 의하여 2次抵抗端子에 sf [c/s]인 電壓降下가 생기면, 이 反對方向의 電壓에 對行하여 所要 Torque에 필요한 2次電流를 흘리고져 더 큰 起電力이 요구되고, 이 요구를 만족하기 위하여 slip의 증가를 가져와서 速度變化를 갖게 되는 것으로, 速度變化의 必要要件은 2次抵抗의 增減이 아니고, 反對方向의 電壓의 增減이다.

A. 2次勵磁方式과 條件

本 研究에서는 그림 1과 같이 Induction motor와 D.C machine를 기계적으로 결합하여, Induction motor의 Rotor로부터의 機械的出力과, 동시에 여기서 나오는 電氣的出力을 D.C machine에 의하여 變換시킨 機械的出力을 합쳐, 一定機械的出力을 갖게 한 system에 관하여, 그 特性을 分析함에 있어, 다음과 같은 2次勵磁條件을 갖게 하였다.

*釜山大學校 工科大學 電氣工學科 助教授 · 正會員
Dept. of Electrical Eng.
College of Engineering,
Pusan National University

(i) Induction motor 의 2次回路를 Silicon rectifier 의 全波整流回路에 연결하여 2次電流를 이 整流回路를 통하여 D.C machine 의 Amateur winding 에 흐르게 하고, 이 電流를 D.C machine 의 誘起起電力에 의하여 억제 되도록 하였다. 그리하여 항상 2次回路誘起起電力과 같은 周波數의 2次勵磁起電力을 가한 效果를 갖게 한다.

(ii) D.C machine 에 의하여, Induction motor 의 2次回路에 가한 2次勵磁相電壓 \dot{E}_{20} 은 全波整流回路의 特性에서 2次相電流 \dot{I}_2 와 항상 180° 의 位相(또는 同相)을 갖고 $\dot{E}_{20} = \sqrt{\frac{2}{3}} E_a$ 인 크기를 갖는다.

(iii) 위 조건이 만족할때, 동일한 機械的出力에서는 2次相電壓과 2次相電流와의 位相角 φ_2 가 항상 일정함을 갖는다. (그림 3 참조)

B. 2次勵磁된 Induction motor 의 Torque 特性

A 와 같은 2次勵磁條件에서, Induction motor 만의 特性은 定 Torque 特性을 갖는다. 즉 Induction motor 의 Torque 는 2次入力 P_2 에 비례하고, P_2 는 \dot{E}_2 와 \dot{I}_2 와의 사이의 電力으로 그림 2 에서, 즉 Induction motor 의 2次에 대한 Vector diagram 에서 다음과 같은 식이 주어진다.

$$P_2 = E_2 I_2 \cos \varphi_2 \dots\dots\dots(1)$$

E_2 는 磁束 Φ 에 비례하므로, Φ 와 I_2 사이의 位相角을 θ 라 하고 k 를 定數로 하면 Torque T 는

$$T = k \Phi I_2 \sin \theta \dots\dots\dots(2)$$

라 놓을 수 있다.

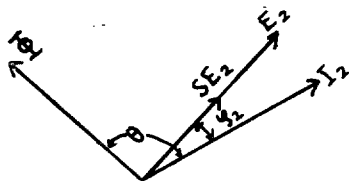


그림 2 2次回路의 Vector 線圖

一定電源電壓에 대하여서는 Φ 는 거에 一定함으로 I_2 의 크기와 位相을 一定하게 하면 Torque 는 一定하게 된다.

2次電流 \dot{I}_2 는

$$\dot{I}_2 = \frac{S\dot{E}_2}{r_2 + jsx_2} = \frac{\dot{E}_2}{\frac{r_2}{S} + jx_2} \dots\dots\dots(3)$$

로 되어지나, 2次勵磁를 행하여 \dot{E}_{20} 인 起電力을 가하여도 電流 \dot{I}_2 는 一定하고, 다만 slip 가 S 에서 S' 로 변하였다고 하면 Torque 는 一定하며, 이때 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\dot{I}_2 = \frac{S'\dot{E}_2 - \dot{E}_{20}}{r_2 + js'x_2} = \frac{\dot{E}_2 - \dot{E}_{20}/S'}{\frac{r_2}{S'} + jx_2} \dots\dots\dots(4)$$

式 3 과 式 4 를 갈게 놓고, 분자는 분자끼리, 분모는 분모끼리 뺄셈을 하면,

$$\begin{aligned} \dot{I}_2 &= \frac{\dot{E}_2}{\frac{r_2}{S} + jx_2} = \frac{\dot{E}_2 - \dot{E}_{20}/S'}{\frac{r_2}{S'} + jx_2} \\ &= \frac{\dot{E}_{20}/S'}{r_2 \left(\frac{1}{S} - \frac{1}{S'} \right)} = \frac{\dot{E}_{20}}{r_2 \left(\frac{S' - S}{S} \right)} \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

$$\therefore \dot{E}_{20} = \left(\frac{S' - S}{S} \right) \dot{I}_2 r_2 \dots\dots\dots(6)$$

즉 \dot{I}_2 에 의한 2次抵抗電壓降下 $\dot{I}_2 r_2$ 와 同位相으로 크기가 그것의 $\frac{S' - S}{S}$ - 배, 周波數 S'f (本 System 에서는 2次回路에 S'f 인 周波數의 電壓이 가하여진것과 같은 效果를 얻거나 갖는다)인 電壓을 2次勵磁시키면, Torque 는 不變하여 速度만 變化하게 된다.

本 System 에서는 $\dot{E}_{20} \dot{I}_2$ 만큼의 電力은 D.C machine 을 통하여 機械的出力으로 負荷에 供給하고 있는데, 이는 Induction motor 가 一定 Torque 로 slip 가 S 에서 S' 로 변하였을 때의 機械的出力의 변화와 똑 같은 값에 해당한다. 즉

$$\begin{aligned} P_k - P_{r0} &= \omega_s T(1 - S) - \omega_s T(1 - S') \\ &= \omega_s T(S' - S) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{20} I_2 &= \left(\frac{S' - S}{S} \right) \dot{I}_2^2 r_2 = \left(\frac{S' - S}{S} \right) \cdot S P_2 \\ &= P_2 (S' - S) = \omega_s T (S' - S) \end{aligned}$$

$$\therefore P_k - P_{L0} = E_{20} I_2 \dots\dots\dots(7)$$

式 7은 Induction motor 의 slip 가 S 에서 S' 로 變化하여, 一定한 Torque 를 갖는 機械的出力만을 負荷에 供給하고, 나머지 定機械的出力에 부족한 出力은 2次回路에서 電氣的出力으로 D.C machine 에 供給하여, 여기서 이를 機械的出力으로 變換시켜 負荷에 供給하므로써 一定 機械的出力을 갖게 하므로, 速度는 Induction motor 의 定 Torque 特性에 따른다.

그림 3-(a)는 $S' - S > 0$ 로 $\dot{I}_2 r_2$ 와 逆方向의 \dot{E}_{20} 를 가하였을때의 Vector diagram 인데, 여기서는 $S' > S$ 로 速度가 떨어지고, 그림 3-(b)는 $S' - S < 0$ 로 $\dot{I}_2 r_2$ 와 同方向으로 $\dot{I}_2 r_2$ 보다 크기가 적은 \dot{E}_{20} 를 가하면, $S > S'$ 로 速度가 올라가는 경우이다, 그림 3-(c)는 $S' < 0$, $\frac{S' - S}{S} < 1$ 로서 $\dot{I}_2 r_2$ 와 同方向으로 크기가 $\dot{I}_2 r_2$ 보다 큰 \dot{E}_{20} 를 가하였을 때인데, 이때는 同期速度(N_s) 以上の 速度가 된다.

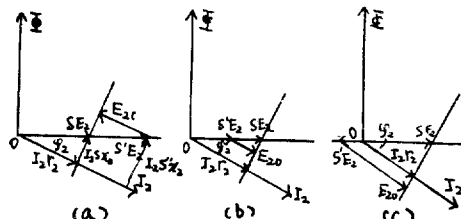


그림 3 2次勵磁時的 Vector 線圖

c. 2次勵磁時的 等價回路

지금 2次勵磁起電力을 가한 경우 Induction motor의 等價回路는 다음과 같다.

그림 4의 等價回路는 電流重疊의 原理에 의하여 그림 5와 같이 두부분의 簡易等價回路로 나눌 수 있다.

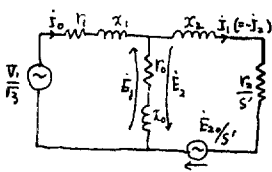


그림 4 2次勵磁를 한 Induction motor의 相의 等價回路

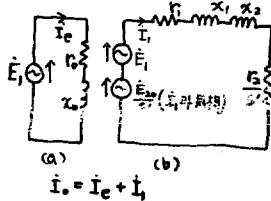


그림 5 重疊의 原理에 의한 簡易等價回路

그림 5-(b)에서 1次負荷相電流*i*₁는

$$i_1 = \frac{E_1 + E_{20}/S'}{(\gamma_1 + \frac{\gamma_2}{S'}) + j(x_1 + x_2)} \dots\dots\dots(8)$$

*E*₂₀는 *I*₁₀와 同相으로, 式 6에서

$$E_{20} = \left(\frac{S'-S}{S}\right) i_2 r_2 = -\left(\frac{S'-S}{S}\right) i_1 r_2$$

이므로 이를 式 8에 대입하여

$$i_1 \left[\gamma_1 + \frac{\gamma_2}{S'} + \frac{1}{S'} \left(\frac{S'-S}{S} \right) r_2 \right] + j(x_1 + x_2) i_1 = E_1$$

$$i_1 = \frac{E_1}{(\gamma_1 + \frac{\gamma_2}{S'}) + j(x_1 + x_2)} \dots\dots\dots(9)$$

즉, 式 9는 2次勵磁를 행하여 slip가 S에서 S'로 변하였는데도 그 等價式에서는, 1次負荷電流와 slip가 2次勵磁를 하지 않을 때의 1次電流 및 Slip와 같은 값을 갖는데, 이것은 同期角速度가 $\omega_s = \frac{\omega'}{(1-S')}$ 에서 2次勵磁時的 새로운 同期角速度 $\omega_{s0} = \frac{\omega'}{(1-S)}$ 로 變換되었음을 의미한다. 즉 等價回路는 그림 6과 같이 變換된다.

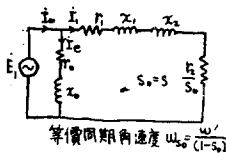


그림 6 2次勵磁時的 變換算價回路

D. 等價同期速度 (S₀=0)의 變換

機械的動力이 零이고, Torque가 零인 速度에 해당하는 等價同期速度點의 移動에 대하여는 이미 설명하였거니와, 이때 負荷變化에 따른 slip의 값 S₀는 2次勵磁를 하지 않을 때의 負荷變化時的 同期角速度 ω_s 에 대한 slip S와 一致한다. 이 점은 다른 방식에 의한 Induction

motor의 速度制御에서는 볼 수 없는 長點의 하나이다. 지금 2次勵磁起電力*E*₂₀와 等價同期角速度 ω_{s0} 와의 關係式을 구하여 보면 다음과 같다.

그림 3-(a)의 Vector diagram에서

$$E_{20} + I_2 r_2 = S' E_2 \frac{\gamma_2}{\sqrt{\gamma_2^2 + S^2 x_2^2}} \dots\dots\dots(10)$$

*I*₂에 관하여 整理하고, 定Torque時, 2次勵磁로 가지 않을 때의 값을 대입하면,

$$I_2 = \frac{S' E_2}{\sqrt{\gamma_2^2 + S^2 x_2^2}} - \frac{E_{20}}{r_2} = \frac{S E_2}{\sqrt{\gamma_2^2 + S^2 x_2^2}}$$

整理하여,

$$-S E_2 = -S' E_2 + \frac{E_{20}}{r_2} \sqrt{\gamma_2^2 + S^2 x_2^2} \dots\dots\dots(11)$$

式 11의 양변에 *E*₂를 가하여

$$S_2(1-S) = E_2(1-S') + \frac{E_{20}}{r_2} \sqrt{\gamma_2^2 + S^2 x_2^2} \dots\dots\dots(12)$$

그런데, $\omega_{s0} = \frac{\omega'}{(1-S)}$ = $\frac{\omega'}{(1-S_0)}$, $\omega_s = \frac{\omega'}{(1-S')}$ 이므로

$$\frac{\omega_{s0}}{\omega_s} = \frac{(1-S')}{(1-S)} \dots\dots\dots(13)$$

式 12에 式 13의 (1-S')의 값을 대입하여 整理하면

$$1 - \frac{\omega_{s0}}{\omega_s} = \frac{E_{20}}{E_2} \frac{\sqrt{\gamma_2^2 + S^2 x_2^2}}{r_2(1-S)} \dots\dots\dots(14)$$

式 14는 Slip가 S 및 S₀인 값은 定出力때의 關係式으로, 同期角速度 즉 零出力인 때의 關係式은 S=0로 하면 된다. 즉

$$1 - \frac{\omega_{s0}}{\omega_s} = \frac{E_{20}}{E_2}$$

$$\therefore \omega_{s0} = \frac{E_2 - E_{20}}{E_2} \omega_s \dots\dots\dots(15)$$

동시에

$$N_{s0} = \frac{E_2 - E_{20}}{E_2} N_s \dots\dots\dots(16)$$

인 關係式을 갖는다.

E. 機械的出力 R_{k0}와 Torque To

Induction motor內에서 機械的動力으로 變換하는 電力 P_k는

$$P_k = T \omega = T \omega_s (1-S) \dots\dots\dots(17)$$

$$= \frac{m_1 r_2 S (1-S) E_1^2}{(S \gamma_1 + r_2)^2 + S^2 (x_1 + x_2)^2} \text{ [Watt]} \dots\dots\dots(18)$$

이다.

2次勵磁時, Slip가 S에서 S'로 변화하면, 이때 P_k'는

$$P_k' = T' \omega' = T' \omega_{s0} (1-S_0) \dots\dots\dots(19)$$

로서 式 18과 式 19를 비교하면,

$$\frac{P_k' T'}{P_k T} = \frac{\omega_{s0} (1-S_0)}{\omega_s (1-S)} = \frac{\omega_{s0}}{\omega_s} (S_0 = S) \dots\dots\dots(20)$$

(i) Induction 만의 定 Torque 特性에서는

$$\frac{P_k'}{P_k} = \frac{\omega_{s0}}{\omega_s}, P_k' = \frac{\omega_{s0}}{\omega_s} P_k, (T' = T) \dots\dots\dots(21)$$

(ii) 全 System에서의 定出力特性인 경우

$$\frac{T}{T'} = \frac{\omega_{s0}}{\omega_s}, \quad T' = \frac{\omega_s}{\omega_{s0}} T, \quad (P_k' = P_k) \dots (22)$$

그러므로 2次勵磁時의 全機械의 出力 P_{k0} 는

$$P_{k0} = \frac{m_1 \gamma_2 S_0 (1 - S_0) E_1^2}{(S_0 \gamma_1 + \gamma_2)^2 + S_0^2 (x_1 + x_2)^2} \text{ [watt]} \dots (23)$$

(iii) 2次勵磁時의 全 Torque T_0 는

$$T_0 = \frac{m_1 E_1^2 \gamma_1 S_0}{\omega_{s0} [(S_0 \gamma_1 + \gamma_2)^2 + S_0^2 (x_1 + x_2)^2]} \text{ [N-m]} \quad (24)$$

F. 2次入力 P_{20} , 2次力率 $\cos \varphi_{20}$, 効率 η_0 ,

Induction motor 만으로, 定 Torque 特性을 갖일때의 速度制御條件, 즉 N_s 에 대한 Slip S 의 값과 N_{s0} 에 대한 slip S_0 의 값이 같을 때는, Induction motor 만의 Torque 를 위한 2次入力 P_2' 는 감소할것이나 D.C machine 에 의하여 補償되는 出力도 Induction motor 의 2次回路를 통하여서 變換됨으로, 2次入力 P_{20} 는 같은 S_0 의 값일 때 는 항상 일정하다. 즉

$$P_{20} = E_1^2 \frac{m_1 S_0 \gamma_2}{\gamma_2^2 + (S_0 x_2)^2} = \omega_{s0} T_0 \text{ [watt]} \dots (25)$$

2次力率 $\cos \varphi_{20}$ 는 φ_2 가 항상 일정하므로, 즉 그림 3 에서

$$\begin{aligned} \varphi_2 &= \tan^{-1} \frac{S x_2}{\gamma_2} = \tan^{-1} \frac{I_2 S x_2}{I_2 \gamma_2} \\ &= \tan^{-1} \frac{I_2 S' x_2}{I_2 \gamma_2 + E_{20}} = \tan^{-1} \frac{S_0 x_2}{\gamma_2} \end{aligned}$$

이므로, 速度가 변하여, 2次 reactance 가 변화하여도, $I_2 \gamma_2$ 와 同相인 E_{20} 가 변하였기 때문에, $\frac{E_{20}}{I_2}$ 인 等價低抗이 변화하여 이를 補償하여 주고 있기 때문이다.

効率 η 는

$$\eta = \frac{\gamma_2 (1 - S_0)}{\gamma_2 + S_0 \gamma_1} \text{ [機械의 損失을 包含한 값]} \dots (26)$$

로서, 같은 出力에 대하여 항상 일정한 값을 갖는다.

3. 負荷變動에 따른 速度變動의 補償策

2次勵磁起電力에 의하여, 等價同期速度가 변화함은 이미 설명한바이나, 負荷變動에 따른 速度變動, 즉 Slip 의 變化는 어쩔수 없다. 그러나 負荷電流의 變化에 따른 D.C machine 의 差動特性에 의하여 2次勵磁起電力을 變化시킬수 있으므로, 이러한 方法으로 等價同期速度를 變化시키면, 負荷變動時의 速度變化를 補償할 수 있게 된다. 즉

$$S_0 (I_2) \cdot \omega_{s0} (I_2) = \Delta \omega_{s0} (I_2) \dots (27)$$

란 關係式이 성립하는 2次勵磁起電力의 變化 ΔE_{20} 를 갖게 하려면 될것이다.

式 27 은 式 3 의 變型和 式 15 에서

$$\begin{aligned} \frac{I_2 \gamma_2}{\sqrt{E_2^2 - I_2^2 x_2^2}} \left[1 - \frac{E_{20} (I_2)}{E_2} \right] \omega_s &= - \frac{\omega_s}{E_2} \Delta E_{20} \\ \therefore \Delta E_{20} &= - \left[1 - \frac{E_{20} (I_2)}{E_2} \right] I_2 \gamma_2 \dots (28) \end{aligned}$$

그런데, $E_{20} (I_2) = [E_{20} (I_2)]_{I_2=0} - \Delta E_{20}$ 이므로

$$\begin{aligned} \Delta E_{20} &= - \left[1 - \frac{[E_{20} (I_2)]_{I_2=0}}{E_2} \right] I_2 \gamma_2 - \frac{\Delta E_{20}}{E_2} I_2 \gamma_2 \\ &= - \left[\frac{\omega_{s0}}{\omega_s} \right]_{I_2=0} \cdot I_2 \gamma_2 - \frac{\Delta E_{20}}{E_2} I_2 \gamma_2 \end{aligned}$$

整理하여

$$\begin{aligned} \Delta E_{20} &= - \frac{\left[\frac{\omega_{s0}}{\omega_s} \right]_{I_2=0} E_2 I_2 \gamma_2}{E_2 + I_2 \gamma_2}, \quad E_2 \gg I_2 \gamma_2 \\ &= - \left[\frac{\omega_{s0}}{\omega_s} \right]_{I_2=0} \cdot I_2 \gamma_2 \dots (29) \end{aligned}$$

여기서 $\left[\frac{\omega_{s0}}{\omega_s} \right]_{I_2=0}$ 는 定 2次勵磁時의 等價同期角速度에 해당하는 速度補償定數이다.

(29) 식은 D.C generator 의 平復卷의 差動特性式과 同一한 表現式으로, 2次勵磁起電力을 D.C differential compound machine 에 의할것 같으면, 負荷變動時에도 任意의 一定速度에서 安定動作을 하게 된다.

4. 實驗測定値와 結果

A. 被試驗機器의 定格

(i) 3 ϕ . Wound type induction motor.....日本昭和電機Co.,製

Output : 2.2 KW	Pole : 4
Voltage : 200 V	Current : 9.5 A
Frequency : 60 C/S	R.P.M : 1680
Secondary voltage : 73 V	
定數(實測值)	

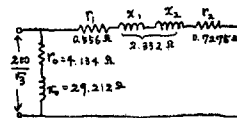


그림 7 規定試驗에 의한 實測等價回路

$$P_{km} = 4.5 \text{ [kw]} (204.5 \%), \quad S_{pkm} = 24.0 \%$$

$$T_m = 33.9 \text{ [N-m]} (256.0 \%), \quad S_{tm} = 36.5 \%$$

(ii) D.C machine.....日本昭和電機Co.,製

Output : 2 KW	Excit : Compound
Voltage : 100 V	Current : 20 A
R.P.M : 1800	Amateur Res. : 0.213 Ω

(iii) Silicon Rectifier.....45 F 30

D.C current : 45 A	A.C voltage : 72 V
P.I.V : 300 V	Max. current : 150 A

B. 實驗結果

實測을 위한 實驗은 D.C machine 의 Amateur 抵抗이 Induction motor 의 2次回路에 삽입된 상태에서 행하였는데, 1相等價挿入抵抗 γ_a 는

$$\gamma_a = \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^2 \times \frac{2}{3} R_a = \left(\frac{200}{73} \right)^2 \times \frac{2}{3} \times 0.213 = 1.095 \Omega$$

(i) 等價同期速度 N_{s0} 의 移動

表 1

2次勵磁起電力 E_{20} 와 等價同期速度 N_{so}

E_a (實 測 值)		0	9.0	18.0	26.0	34.6	43.5	51.5	60.5 [V]
E_{20} (等 價 1 次 值)		0	11.52	23.03	33.28	44.43	55.68	65.92	77.44[V]
N_{so}	實 測 側	1800	1620	1445	1290	1120	950	790	610[r.p.m]
	理 論 值	1800	1624	1448	1292	1122	951	795	618[r.p.m]

(理論 值) : $E_{20} = N \times \sqrt{\frac{2}{3}} E_a \approx 1.28 E_a [V]$

$E_2 = \frac{V_1}{\sqrt{3}} = \frac{205}{\sqrt{3}} \approx 118 [V]$

$N_{so} = \frac{E_2 - E_{20}}{E_2} N_s [r.p.m]$

지금 2次勵磁起電力 E_{20} 를 변화시켜 等價同期速度 N_{so} 의 값을 구하면 다음과 같다. 實測値는 그림 9에서 理論値는 式 16에서 구한 값이다.

檢討 1 E_{20} 와 N_{so} 사이의 實測値와 理論値가 일치한다. 이는 式 16의 誘導式이 正常하며, 等價同期速度가 2次勵磁起電力에 의하여 移動함을 뒷받침하고 있다.

(ii) 一定出力時, 2次勵磁等價 Slip S_o 의 同一性

全機械의 出力이 一定한 값을 갖을 때는 Induction motor 만의 特性은 定 Torque 特性을 갖는데, 임의의 2次勵磁起電力을 가할때의 等價同期速度 N_{so} 에 대한 Slip 가 S_o 일때, 2次入力, 全機械의 出力, Torque 등에 관하여 살펴보면 그림 8(表 2, 表 3, 表 4에 의한 特性曲線)과 같다.

表 2

2次勵磁起電力 $E_{20}=0$ 때의 諸特性

$N_s=1800[r.p.m]$

V_1	I_o	$3P_1$	$P.f_1$	$3P_2$	$3P_k$	$3T_o$	定 勵 磁 時		差 動 勵 磁 時		η	I_a
							N_o	Slip[%]	N_o	Slip[%]		
							[V]	[A]	[W]	[%]	[W]	[W]
205	4.01	556	39	393	281	1.53	1746	3.0	1780	1.2	31.4	3.9
//	4.51	802	50	589	550	3.14	1670	7.2	1752	2.7	55.6	7.1
//	4.73	1000	60	782	720	4.20	1633	9.3	1730	3.9	61.6	9.6
//	5.30	1265	67	1034	924	5.67	1553	13.7	1675	7.0	65.1	12.6
//	5.92	1550	74	1305	1121	7.29	1520	15.5	1655	8.1	66.5	16.5
//	6.80	1810	75	1554	1420	9.34	1450	19.4	1610	10.1	72.7	22.3

表 3

2次勵磁起電力 $E_{20}=33.28[v]$, $E_a=26[v]$ 때의 諸特性

$N_{so}=1290[r.p.m]$

V_1	I_o	$3P_1$	$P.f_1$	$3P_2$	$3P_k$	$3T_o$	定 勵 磁 時			差 動 勵 磁 時			η	I_a
							N_o	Slip [%]		N_o	Slip [%]			
							[V]	[A]	[W]	[%]	[W]	[W]	[N-m]	(r.p.m)
205	3.93	440	32	235	226	1.74	1240	32.0	3.9	1270	29.5	1.6	27.7	3.2
//	4.10	560	40	352	328	2.59	1210	32.5	6.2	1244	31.0	3.6	40.0	5.6
//	4.60	880	55	665	617	4.98	1182	35.0	8.4	1243	31.0	3.6	58.3	8.2
//	4.75	1080	67	862	784	6.53	1145	37.2	11.3	1218	32.4	5.6	63.0	10.5
//	6.01	1580	76	1340	1138	10.33	1050	42.2	18.6	1150	36.2	10.9	65.5	16.7

表 4

2次勵磁起電力 $E_{20}=55.68[V]$, $E_a=43.5[V]$ 때의 諸特性

$N_{s0}=950[r.p.m]$

V_1 [V]	I_o [A]	$3P_1$ [W]	$P.f_1$ [%]	$3P_2$ [W]	$3P_k$ [W]	$3T_0$ [N-m]	定 勵 磁 時			差 動 勵 磁 時			η [%]	I_a [A]
							N_o (r.p.m)	Slip [%]		N_o (r.p.m)	Slip [%]			
								S'	S_o		S'	S_o		
205	3.83	360	27	156	152	1.56	930	49.0	2.1	948	47.4	0.2	13.3	2.4
//	4.02	510	36	303	291	3.02	920	49.6	3.2	946	47.5	0.5	36.7	4.0
//	4.45	730	47	517	487	5.22	890	51.0	6.3	931	48.5	2.1	52.5	6.4
//	4.72	1000	61	783	721	8.09	850	53.3	10.5	902	49.9	5.1	61.7	9.4
//	5.45	1300	69	1071	953	11.36	800	56.0	15.8	863	52.1	9.2	65.3	13.0
//	5.90	1520	74	1283	1096	13.48	770	57.5	18.4	848	52.9	10.8	65.3	16.1

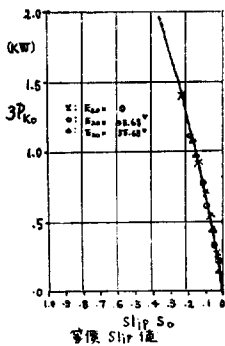


그림 8(a) $P_{k0}-S_o$ 特性曲線 (機械의 出力)

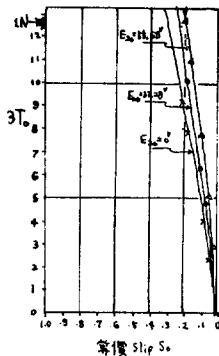


그림 8(b) T_0-S_o 特性曲線 (Torque)

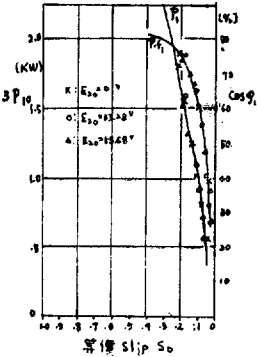


그림 8(c) $P_{10}, P.f_1-S_o$ 特性曲線 (1次入力 및 1次力率)

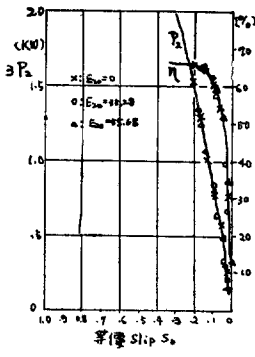


그림 8(d) $P_{20}, \eta-S_o$ 特性曲線 (2次入力 및 效率)

檢討 2 2次勵磁에 의한 速度變化時 동일한 全機械 出力 $3P_{k0}$ 에서 等價 Slip S_o 의 값이 동일함을 보이고 있다. 그러나 이때 Torque T_0 는 N_s/N_{s0} 倍만큼 증가함을 보여 주는데, 이는 이 增加分이 D.C machine에 의한 機械의 出力($E_o I_o$)으로 인한 Torque에 해당한다.

檢討 3 Induction motor의 單獨運轉時보다 1次力率, 效率 η 가 감소한 것은, D.C machine의 Amateur 抵抗損

失과 그 機械損에 의한 것으로, 2次勵磁起電力이 변화된 때는 同一機械의 出力에 대하여 거의 일정한 값을 갖는다.

(iii) 可變負荷時의 定速度運轉特性

負荷(機械의 出力 및 Torque)가 變化하면 필연적으로 Slip의 變化를 가져온다. 그러나 이러한 Slip는 2次勵磁起電力을 變化시켜도 變化된은 이미 설명한 바이다. 특히 本 System에서는 電機子 抵抗이 2次挿入抵抗으로 작용하며, 그 값이 대단히 커서 速度變動率이 큰 것이 缺點이나, 이를 다음과 같이 補償할 수 있다. 즉 負荷變動에 따른 Slip의 變化分을 2次勵磁起電力의 變動으로서 補償시키는 方法으로 2次勵磁用 D.C machine의 差動複卷特性을 이용하여 보면 그림 9와 같이 速度改善이 이루어진다.

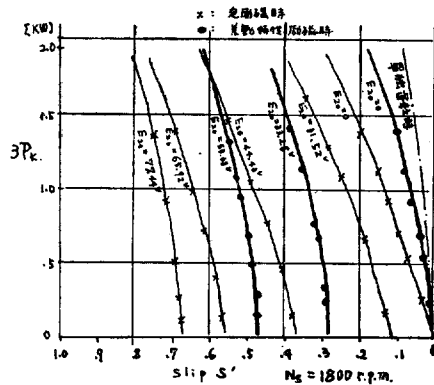


그림 9 本 System의 負荷速度特性曲線

檢討 4 그림 9에 보면 2次勵磁時에는, Induction motor의 單獨運轉時보다 負荷速度特性이 나쁜데, 이는 2次勵磁를 위하여 D.C machine의 Amateur winding이 Induction motor의 2次回路에 挿入되기 때문인데, 이는 불가피한 것으로, 이를 보상키 위하여, D.C machine의 差動特性을 이용하였드니 상당히 改善되었다.

表 5 差動特性에 의한 速度補償分 $\Delta\omega_{so}$

	I_a	1	3	5	7	9	11	13	15	17
	I_2	0.7	2.1	3.5	5.0	6.4	7.8	9.2	10.6	12.0
$N_{so}=1750$	ΔE_{20}	1.02	2.56	3.84	5.12	6.14	6.66	7.55	8.32	8.96
	ΔN_{so}	15.5	39.0	58.6	78.1	93.7	101.6	115.2	126.9	136.7
$N_{so}=1290$	ΔE_{20}	0.77	1.92	2.82	3.71	4.48	4.86	5.50	6.02	6.53
	ΔN_{so}	11.7	29.3	43.0	56.6	68.3	74.1	83.9	91.8	99.6
$N_{so}=950$	ΔE_{20}	0.51	1.41	2.05	2.82	3.33	3.58	4.10	4.61	4.86
	ΔN_{sc}	7.8	21.5	31.3	43.0	50.8	54.6	62.5	70.3	74.1

5. 結 論

A. 本實驗에서 사용한 速度制御方式은 D.C machine 의 작은 勵磁電流를 調節함으로써 定出力 및 定 Torque 의 速度制御를 廣範圍하게 할 수 있으며, 2次回路抵抗挿入 및 可變周波數에 의한 速度制御方式에서는 負荷에 따른 速度變動率이 큰것에 비하여, 이 방식은 작은 變動率로 서 安定한 運轉을 할 수 있다.

B. 2次勵磁에 의하면, 다만 等價同期速度만이 변화하며, 機械的出力, Torque 및 力率은 변화하지 않는 特性을 갖어, 可變速度誘導電動機로서, 任意速度에서도 安定한 動作을 할 수 있음을 알 수 있다.

C. 補助機로서 D.C differential compound machine 을 사용하면, 負荷變動에 따른 速度變化를 補償할 수 있다.

끝으로 本實驗研究가 良質의 大容量整流器의 開發에 따라, 이를 이용한 새로운 速度制御方式의 特性을 分析, 考察한 것으로, 이 結果가 이 方面의 速度制御方式의 改善과 考察에 參考가 되던 多幸으로 생각 하는 바이다.

記 號 說 明

- V_1 : 定格端子電壓
- I_0 : 1次 1相全電流
- E_1 : 1次 1相誘起起電力
- E_2 : 2次 1相誘導起電力(靜止時, 等價, 1次值)
- I_1 : 1次 1相負荷電流
- I_2 : 2次 1相負荷電流(等價 1次值), $\frac{I_a}{\sqrt{2}n}$
- E_{20} : 2次勵磁起電力(等價 1次值), $\frac{\sqrt{2}}{3}nE_a$

- $Z_0=r_0+jx_0$: 1次 1相勵磁 Impedance
- $Z_1=r_1+jx_1$: 1次 1相 Impedance.
- $Z_2=r_2+jx_2$: 2次 1相 Impedance(等價 1次值)
- P_1 : 1次 1相入力
- P_2 : 2次 1相入力
- P_{20} : 2次勵磁時的 2次 1相入力
- P_k : 機械的出力(1相值)
- P_{k0} : 2次勵磁時的 機械的出力(1相值)
- T : 1相 Torque
- T_0 : 2次勵磁時的 Torque
- $N_s(\omega_s)$: 同期(角)速度
- $N_{so}(\omega_{so})$: 2次勵磁時的 等價同期(角)速度
- $N(\omega)$: 任意負荷時的 (角)速度
- $N'(\omega')$: 2次勵磁時, 定格周波에 대한 任意負荷時的 (角)速度
- S : 無負勵磁時的 N_s 에 대한 Slip
- S' : 2次勵磁時的 N_s 에 대한 Slip
- S_s : 2次勵磁時的 N_{so} 에 대한 Slip
- E_a : 直流機의 電機子電壓
- I_a : 直流機의 電機子電流
- n : 誘導機의 1次, 2次卷線比

參 考 文 獻

1. 石山龍雄·井上 等 誘導機(修敎社)
 2. 日本電氣學會 誘導機(電氣機械工學Ⅲ)
 3. 尾本義一 電動機應用 Hand Book
 4. 朴 晏 鎬 誘導機器(東明社)
- (1966年 6月 15日 接受)