

直流直捲 發電機에 의한 直流分捲 電動機의 特性解析

論 文

16-1-2

(Analysis of D-C Shunt Motor Characteristics, driving D-C series Generator)

李 承 院* · 韓 松 曄**
(Sung-won Lee · Song-yup Han)

Abstract

There are many kinds of motors operating by rated voltage which is constant. In this paper, the characteristics of separately excited direct current motor is analyzed when its terminal voltage is varied as its load current. As for this source, direct current generator of a series field is used, and it is driven at constant speed by a primemover.

The induced voltage of the generator is propotional to its load current but it saturates as its load current is large. The characteristics of motor is studied by analog computer because of the nonlinearity of generator.

The results are as follows:

(1) The load current and the rotor speed of motor increase as the load of motor increases. But the speed of rotor decreases for the influence of the saturation of the iron of generator field when its load current is large.

(2) Decreasing the inertia of motor and increasing the inductance of the armature circuit improve the stability of motor and the region of stable state.

(3) By changing the field current of the motor, the speed and the direction of rotor can be controlled in wide range.

1. 序 論

直流電動機는 크게 나누어 分捲 直捲 複捲 電動機로 나눌수 있고 이들의 정상상태에서의 제특성과 電動機의 모든 정수들이線型이라고 생각했을 때의 過渡特性들은 이미 많이 연구되었다.

본 論文은 一定한 速度로 회전되는 直流直捲 發電機에 연결된 直流分捲 電動機의 特性을 고찰하였다.

直流直捲 發電機의 誘起電壓은 負荷電流에 의한 界磁 磁束에 의하여 생기는데 負荷電流가 많이 흐르는 경우 鐵(磁極)의 포화에 의한 誘起 電壓의 포화 현상을 Function Generator 로 Simulation 하여 모든 특성을 살경하였다.

(1) 一定한 負荷와 界磁電流에 대한 電動機의 Equilibrium state 를 구하고 電動機의 安定한 운전범위를 기술하였다.

(2) 負荷變動 및 界磁電流 變化에 의한 回轉子의 過渡 特性을 Analog Computer 로 풀었다.

(3) 회로의 인덕탄스 및 관성모멘트가 回轉子의 진동

상태에 미치는 영향을 고찰하였다.

<記號說明>

- E_g : 發電機의 誘起電壓(Volt)
- L : 發電機의 아마추어, 계자권선 및 電動機의 아마추어 권선의 自己인덕탄스(Henry)
- R : 發電機의 아마추어, 계자권선 및 電動機의 아마추어 권선의 저항(Ohm)
- I : 發電機 및 電動機의 아마추어 電流(Ampere)
- E_f : 電動機의 界磁電壓(Volt)
- R_f : " " 抵抗(Ohm)
- L_f : " " 自己인덕탄스(Henry)
- I_f : " " 電流(Ampere)
- W : " " 回轉子 角速度(Radian/sec)
- J : " " 관성모멘트(k-gm²)
- D : " " 마찰계수(Nm/rad/sec)
- M : " " 아마추어 권선과 계자권선과의 相互 Inductance(Henry)

1. 理 論

그림 1은 負荷의 電流와 관계없이 일정한 速度로 회전되는 直流直捲 發電機와 여기에 연결되어 回轉되는 直流分捲 電動機의 그림이다.

* 서울大學校 工科大學 電氣工科學 理事,
Dept. of Electrical Engineering, College of Eng. Seoul National University (D)

** 서울大學校 工科大學 電氣工學科 正會員,
Dept. of Electrical Engineering College of Eng. Seoul National University (M)

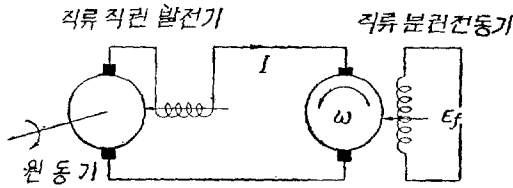


그림 1. 발전기 및 전동기의 결선도

발전기의 誘起電壓과 負荷電流와의 관계는 그림 2의 a 曲線과 같이 되나 잔류자기를 무시하면 b 曲線으로 볼 수 있다.

즉
$$E_g(I) = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 + \dots + a_n I^n \dots (1)$$

이다.

그런데
$$E_g(I) = E_g(-I) \dots (2)$$

이므로 (1)式 중 常數 및 I의 奇數次 項은 零이 되어
$$E_g(I) = a_1 I + a_3 I^3 + \dots + a_{2n+1} I^{2n+1} \dots (3)$$

이 된다.

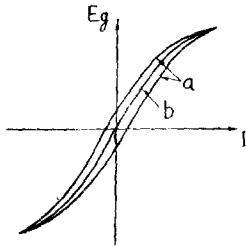


그림 2. 발전기의 무부하 포화곡선

발전된 電壓과 負荷電流와의 관계는

$$E_g(I) = L \frac{dI}{dt} + RI + MI_f w \dots (4)$$

와 같이 되고 電動機에 있어서 負荷와 角速度와의 관계는

$$J \frac{dw}{dt} + Dw + T_L = MI_f I \dots (5)$$

와 같이 된다.

또 電動機의 界磁回路에서

$$E_f = L_f \frac{dI_f}{dt} + R_f I_f \dots (6)$$

가 된다.

(3)式에서 第二項 以下의 項들은 鐵의 포화의 影響으로 인한 項들이며

$$a_1 I + a_3 I^3 + a_5 I^5 + \dots + a_{2n+1} I^{2n+1}$$

의 범위에서는

$$E_g(I) = a_1 I \dots (7)$$

와 같이 쓸 수 있다.

(4) (5) (7)式으로 부터

$$\left. \begin{aligned} L \frac{dI}{dt} + (R - a_1) I + K w &= 0 \\ J \frac{dw}{dt} + D w + T_L &= K I \end{aligned} \right\} \dots (8)$$

를 얻는다.

여기서

$$K = M I_f \dots (9)$$

이며 I_f 를 常數로 보면 K는 常數가 된다.

또 (8)式은

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} I \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 - R & -K \\ \frac{K}{J} & -\frac{D}{J} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I \\ w \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{T_L}{J} \end{pmatrix} \dots (10)$$

이라고 쓸 수 있으며 이 系統을 記述하는 基本方程式이 된다.

3. Equilibrium State and Stability

(4) (5) (9)式으로 부터

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} I \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{K}{L} \\ \frac{K}{J} & -\frac{D}{J} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I \\ w \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{J} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_g(I) \\ T_L \end{pmatrix} \dots (11)$$

를 얻는다.

이 系統이 Equilibrium state에 도달한다는 것은 I와 w가 변화하지 않고 一定한 값이 될을 뜻하므로

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} I \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \dots (12)$$

가 되어야 한다.

Equilibrium state에 있어서의 電流 및 角速度를 각각 I_e, w_e 라고 하면

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{K}{L} \\ \frac{K}{J} & -\frac{D}{J} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_e \\ w_e \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{J} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_g(I) \\ T_L \end{pmatrix}$$

$$\left. \begin{aligned} R I_e + K w_e &= E_g(I) \\ K I_e - D w_e &= T_L \end{aligned} \right\} \dots (13)$$

이 된다.

$$\begin{vmatrix} R & K \\ K & -D \end{vmatrix} \approx 0$$

이므로

$$\begin{vmatrix} E_g & K \\ T_L & -D \\ R & K \\ K & -D \end{vmatrix} = \frac{E_g D + K T_L}{R D + K^2} \dots (14a)$$

$$\begin{vmatrix} R & E_g \\ K & T_L \\ R & K \\ K & -D \end{vmatrix} = \frac{KE_g - RT_L}{RD + K^2} \dots\dots\dots(14b)$$

가 된다.

그림 3에서 곡선 C₁은 發電機의 無負荷 포화곡선이고 직선 C₂는 (14a)식을 그린 것인데 電流軸과 $\frac{KT_L}{RD+K^2}$, 電壓軸과 $\frac{-KT_L}{D}$ 點을 지나는 直線이다. 그림에서 곡선 C₁과 직선 C₂와의 교점 P가 Equilibrium state이다.

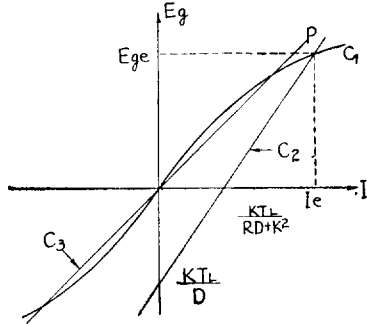


그림 3. 무부하 포화곡선 및 Equilibrium state

임의의 계자전류 즉 K와 부하 토크가 주어지면 그림 3으로 부터 Equilibrium current I_e와 Equilibrium voltage E_{g e}를 구할 수 있고 이것을 (14b) 식에 대입하여 Equilibrium angular velocity ω_e를 구할 수 있다.

몇개의 부하 토크 및 계자전류에 대하여 Equilibrium state를 그려보면 그림 4와 같이 된다.

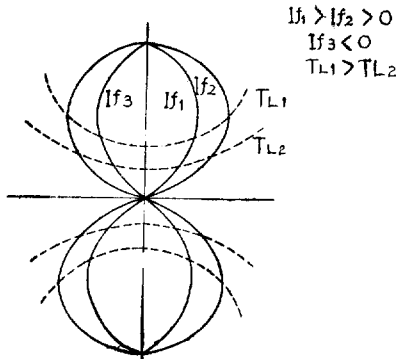


그림 4. Equilibrium state curve

앞에서 구한 Equilibrium state의 stability를 판정하기 위하여 Liapunov의 1st Method를 적용하여 보면 아래와 같다.

(11) 식으로 부터

$$f_1(I, w) = \frac{dI}{dt} = \frac{E_g(I)}{L} - \frac{R}{L} I = \frac{K}{L} w$$

$$f_2(I, w) = \frac{dw}{dt} = \frac{K}{J} I - \frac{D}{J} w = \frac{T_L}{J}$$

라 놓자

Jacobian Matrix [A]를 구하면

$$[A] = \begin{vmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial I} & \frac{\partial f_1}{\partial w} \\ \frac{\partial f_2}{\partial I} & \frac{\partial f_2}{\partial w} \end{vmatrix} \quad I = I_e, \quad w = w_e$$

$$= \begin{vmatrix} \frac{E_{g e}}{L} - \frac{R}{L} & -\frac{K}{L} \\ \frac{K}{J} & -\frac{D}{J} \end{vmatrix} \dots\dots\dots(15)$$

가 된다. 여기서

$$E_{g e} = \frac{d}{dI} E_g(I) \quad I = I_e$$

이다.

Matrix [A]의 固有值를 구하면

$$|A - \lambda u| = \begin{vmatrix} \frac{E_{g e}}{L} - \frac{R}{L} - \lambda & -\frac{K}{L} \\ \frac{K}{J} & -\frac{D}{J} - \lambda \end{vmatrix}$$

$$= \lambda^2 + \left(\frac{D}{J} + \frac{R - E_{g e}}{L} \right) \lambda + \frac{D(R - E_{g e}) + K^2}{JL} = 0$$

$$\lambda_1 = -\frac{1}{2} \left(\frac{D}{J} + \frac{R - E_{g e}}{L} \right) + \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{D}{J} + \frac{R - E_{g e}}{L} \right)^2 - \frac{D(R - E_{g e}) + K^2}{JL}}$$

$$\lambda_2 = -\frac{1}{2} \left(\frac{D}{J} + \frac{R - E_{g e}}{L} \right) - \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{D}{J} + \frac{R - E_{g e}}{L} \right)^2 - \frac{D(R - E_{g e}) + K^2}{JL}} \quad (16)$$

λ₁ 및 λ₂가 각각 Negative Real part를 가지는 Equilibrium state에서 이 System은 Asymptotically stable하다.

본 논문에서 취급한 발전기 전동기 계통에서는

$$\frac{D(R - E_{g e}) + K^2}{JL} > \frac{1}{4} \left(\frac{D}{J} + \frac{R - E_{g e}}{L} \right)^2$$

이므로

$$\frac{D}{J} + \frac{R - E_{g e}}{L} > 0 \dots\dots\dots(17)$$

를 만족하는 Equilibrium state에서 이 계통은 안정하다.

(17)식에서 E_{g e}만이 Equilibrium state에 따라 변화하는 값이고 電流의 값이 적을 때는 E_{g e}가 커져서 이 계통은 불안정한 상태로 되어가고 電流의 값이 커지면 E_{g e}가 적어져서 이 계통은 安定한 상태로 된다.

이 系統의 損失에 영향을 미치지 않은 定數 즉 관성모멘트와 회로의 자기 인덕턴스가 이 系統의 安定度에 미치는 영향을 보면 관성모멘트의 각도 즉 電動機의 機械的 時定數를 감소시키고 회로의 자기 인덕턴스를 증가시키면 이 계통의 安定한 범위가 더욱 증가하고 전동기의 회전자 진동의 감쇠정수도 커져서 진동이 빨리 감소됨을 알 수 있다.

그림 3에서 직선 C_2 및 C_3 는 각각 負荷 및 界磁電流를 변화시키었을 때의 (14-a) 式을 그린 것이다. 여기서 무부하 포화곡선 C_1 과 직선 C_2 와의 교점은 한계 뿐이고 부하토크 및 계자전류의 미소변화에 대하여 이점도 역시 미소변화를 일으킬을 알수 있다. 곡선 C_1 과 직선 C_3 와의 교점은 3개이고 負荷 Torque 및 界磁電流의 미소변화는 교점의 위치를 대단히 큰 범위까지 변화시킬을 알수 있다. 즉 (14-a) 式으로 그려지는 직선이 원점의 근방을 지나고 그 기울기가 (3) 式의 a_1 과 비슷할때는 오랜 진동을 통하여 Equilibrium state에 도달하게 되거나 (17) 式을 만족하지 못하면 어떤 진동을 계속하게 되어 불안정함을 알수 있다.

곡선 C_1 과 직선 C_2 의 경우에 있어서 Equilibrium state가 3개가 있어 이 系統에 어떤 교란이 일어났을때 그 크기에 따라 3點中 임의의 한점에서 평형하게 된다.

즉 넓은 의미의 안정한 상태(asymptotically stable in the large)가 아님을 알수 있다.

4. 過渡特性

負荷의 變化 界磁電流의 變化에 따라 電動機의 負荷電流 및 角速度가 變化하게 된다.

그러므로 (3) (4) (5) (6) 式으로 이루어 지는 이계동은 非線型으로 되어 數式的 解析은 곤란하게 된다.

여기서 계자전류를 일정히 하여 K 를 常數로 하고 발전기의 전압과 여자전류의 관계가 (7) 式으로 주어질 때 이 계동은 線型化되어 數式的 解析이 용이하게 된다.

(10) 式을 積分하면

$$\begin{pmatrix} I \\ w \end{pmatrix} = \exp \begin{pmatrix} \frac{a_1-R}{L} & -\frac{K}{J} \\ \frac{K}{L} & -\frac{D}{J} \end{pmatrix} t \begin{pmatrix} I \\ w_0 \end{pmatrix} + \int_0^t \exp \begin{pmatrix} \frac{a_1-R}{L} & -\frac{K}{J} \\ \frac{K}{L} & -\frac{D}{J} \end{pmatrix} (t-\tau) \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} [TL(\tau)]d\tau$$

가 된다.

여기서 부하의 토크 TL 을 回轉子의 速度 및 時間에 관계 없이 일정한 토크라 하고 하면

$$\begin{pmatrix} I \\ w \end{pmatrix} = \exp \begin{pmatrix} \frac{a_1-R}{L} & -\frac{K}{L} \\ \frac{K}{J} & -\frac{D}{J} \end{pmatrix} t \begin{pmatrix} I_0 \\ w_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{a_1-R}{L} & -\frac{K}{L} \\ \frac{K}{J} & -\frac{D}{J} \end{pmatrix} \left\{ \exp \begin{pmatrix} \frac{a_1-R}{L} & -\frac{K}{L} \\ \frac{K}{J} & -\frac{D}{J} \end{pmatrix} t \right.$$

$$\begin{pmatrix} 10 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \left. \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{TL}{J} \end{pmatrix} \right\} = \exp \begin{pmatrix} \frac{a_1-R}{L} & -\frac{K}{L} \\ \frac{K}{J} & -\frac{D}{J} \end{pmatrix} t \left\{ \begin{pmatrix} I_0 - \frac{K TL}{K^2 + D(R-a_1)} \\ w_0 - \frac{(a_1-12) TL}{K^2 + D(R-a_1)} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{K TL}{K^2 + D(R-a_1)} \\ \frac{(a_1-R) TL}{K^2 + D(R-a_1)} \end{pmatrix} \right. \\ \left. \begin{matrix} I = R_0 + R_1 e^{-\alpha t} \sin(Bt + \varphi_1) \\ w = Q_0 + Q_1 e^{-\alpha t} \sin(Bt + \varphi_2) \end{matrix} \right\} \dots \dots \dots (19)$$

이다.

여기서

$$\begin{aligned} R_0 &= \frac{K TL}{K^2 + D(R-a_1)} & Q_0 &= \frac{(a_1-R) TL}{K^2 + D(R-a_1)} \\ R_1 &= \left\{ \left[\frac{K^2 + D(R-a_1)}{JL} - \left(\frac{a_1-R}{2L} - \frac{D}{2J} \right)^2 \right]^{-1} \right. \\ &\quad \left[\left(I_0 - \frac{K TL}{K^2 + D(R-a_1)} \right) \left(\frac{a_1-R}{2L} - \frac{D}{2J} \right) \right. \\ &\quad \left. + \left(w_0 + \frac{(R-a_1) TL}{K^2 + D(R-a_1)} \right) \left(-\frac{K}{L} \right)^2 \right. \\ &\quad \left. + \left(I_0 - \frac{K TL}{K^2 + D(R-a_1)} \right)^2 \right] + \\ Q_1 &= \left\{ \left[\frac{K^2 + D(R-a_1)}{JL} - \left(\frac{a_1-R}{2L} - \frac{D}{2J} \right)^2 \right]^{-1} \right. \\ &\quad \left[\left(I_0 - \frac{K TL}{K^2 + D(R-a_1)} \right) \left(-\frac{K}{L} \right) \right. \\ &\quad \left. - \left(w_0 - \frac{(a_1-R) TL}{K^2 + D(R-a_1)} \right) \left(\frac{a_1-R}{2L} + \frac{D}{2J} \right) \right]^2 \\ &\quad \left. + \left(w_0 - \frac{(a_1-R) TL}{K^2 + D(R-a_1)} \right)^2 \right] + \\ \varphi_1 &= \tan^{-1} \left\{ \frac{K^2 + D(R-a_1)}{JL} - \frac{1}{4} \left(\frac{a_1-R}{L} - \frac{D}{J} \right)^2 \right\} \\ &\quad \left(I_0 - \frac{K TL}{K^2 + D(R-a_1)} \right) \left(-\frac{a_1-R}{2L} - \frac{D}{J} \right) \\ &\quad - \left(I_0 - \frac{K TL}{K^2 + D(R-a_1)} \right) \\ &\quad - \left(W_0 + \frac{(R-a_1) TL}{K^2 + D(R-a_1)} \right) \left(\frac{K}{L} \right) \\ \varphi_2 &= \tan^{-1} \left\{ \frac{K^2 + D(R-a_1)}{JL} - \frac{1}{4} \left(\frac{a_1-R}{L} - \frac{D}{J} \right)^2 \right\} \\ &\quad - \frac{K}{J} \left(I_0 - \frac{K TL}{K^2 + D(R-a_1)} \right) \left(W_0 - \frac{(a_1-R) TL}{K^2 + D(R-a_1)} \right) \\ &\quad - \frac{W_0 - \frac{(a_1-R) TL}{K^2 + D(R-a_1)}}{\left(-\frac{a_1-R}{2L} + \frac{D}{2J} \right)} \\ \alpha &= \frac{1}{2} \left(\frac{R-a_1}{L} + \frac{D}{J} \right) \\ B &= \left\{ \frac{D(R-a_1) + K^2}{JL} - \frac{1}{4} \left(\frac{D}{J} + \frac{R-a_1}{L} \right)^2 \right\} + \end{aligned}$$

이다.

5. Analog Computer Simulation

앞에서는 鐵의 포화현상이 무시되는 부분에서의 過渡特性을 數式的 方法으로 줄였으나 電流가 증가 함에 따라 포화현상을 무시 할수 없으므로 본절에서는 Analog Computer로 이 系統을 줄였다.

(3) (4) (5) (6) 式을 Computer에 Set-up 하면 그림 5와 같이 된다.

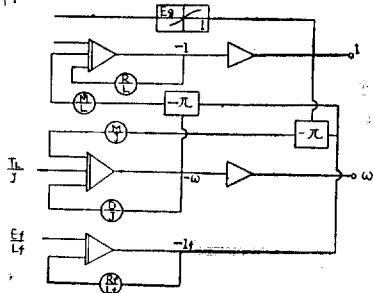


그림 5. Unscaled Computer Setup

6. 實驗 및 結果

本實驗에 사용된 발전기는 직류 125 V 1.5 kW 1800 RPM의 직류 분권 발전기를 사용하였다.

그림 6은 전동기의 계자전류 및 부하 토크를 변화시켰을 때의 정상상태의 아마추어 전류 및 회전자 각 속도를 그린 그림이다.

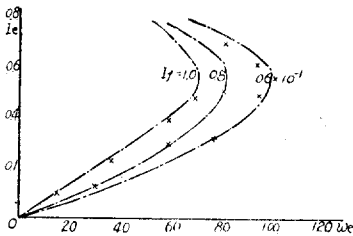


그림 6. 부하전류대 회전자각속도

계산값은 (14-a) (14-b) 式에 의하여 구한것이고 실측치와 큰 오차없이 비슷함을 알수 있다.

부하의 증가에 따라 회전속도는 증가하고 電流도 증가한다. 電流가 0.5A를 넘어서 부터는 오히려 회전자의 속도가 감소하는데 이는 발전기 계자회로의 포화현상에 의한 것이며 안전도의 면에서 볼때 이 부분이 電流가 적은 부분보다 더 安定함을 알수 있다.

그림 7은 실제의 Analog Computer Set-up이며 發電機의 誘起電壓과 界磁電流와의 관계는 Donner Model 3750 Function Generator로 Simulation 하였고 부하토크는 軸에 생기는 쿨룸마찰 및 실제로 걸리는 부하토크를 합하였고 이들 토크는 Passive Torque 이므로 각속도의

방향에 따라 토크의 방향이 바뀌어 지는것을 고려하여 Set-up 하였다. 측정된 각 정수들을 (3) (4) (5) (6) 式에 대입하면

$$\left. \begin{aligned} \frac{dI}{dt} &= 10 \frac{E_g(I)}{L} - 9I - 2.34 \times 10^{-2} I_r w \\ \frac{dw}{dt} &= 0.1 II_f - 2w - 6.67 \frac{T_L}{J} \\ \frac{dI_f}{dt} &= 20 \frac{E_f}{L_f} - 20 I_f \end{aligned} \right\} \dots\dots(20)$$

이다.

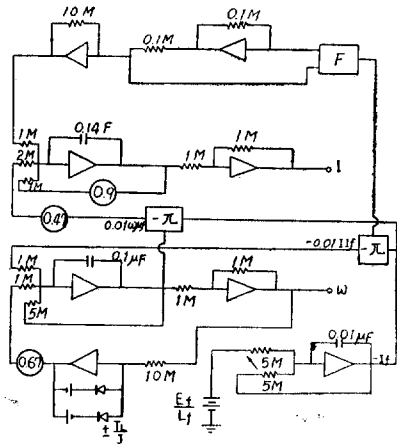


그림 7. Scaled Computer Set-up

그림 8은 전동기의 여자전류를 0.06 A로 하고 아마추어 회로의 스위치를 넣었을때 아마추어(회전자)의 각속도 및 전류가 변화하는 모양을 계산기로 기록한 것이다.

전류가 증가하기 시작하여 1.7 초를 지나서 회전자가 회전하기 시작하였고 이때의 電流의 값은 거의 정상상태에서의 전류값과 비슷함을 알수 있으며 최대 Overshoot Current가 정상 전류와 거의 비슷함을 알수 있다.

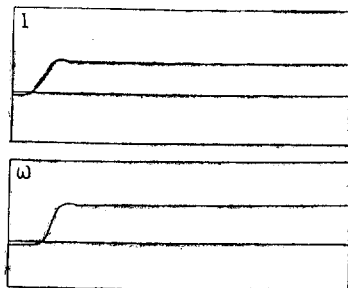


그림 8. 기동시의 회전자 각속도 및 전류(5mm/sec)

그림 9는 $I_f=0.08 A$, $I_0=0.36 A$, $w_r=65 \text{ rad/sec}$ $T_L=5 \times 10^{-2} \text{ N-m}$ 일때 부하 토크 半으로 감소하였을 때의 그림이다.

이때의 회전자 전류 및 각속도를 (19) 式에 전동기의 定數를 넣어서 계산한 결과는

$$\left. \begin{aligned} I &= 0.18 + 0.22 e^{-0.4t} \sin(150t + 125) \\ \omega &= 32 + 72 e^{-0.4t} \sin(150t + 36) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(21)$$

이다. 이결과를 그림 9와 비교하여 보면 큰오차없이 일치함을 알수 있다.

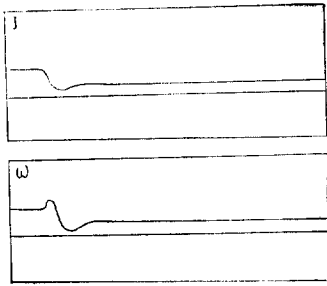


그림 9. 부하변화에 대한 회전자 전류 및 각속도(5mm/sec)

그림 10은 부하 토크를 일정하게 하고 계자전류를 0.1 A에서 0.06 A로 변화시킨 경우의 그림이다.

계자전류의 감소로 부하전류 및 회전자 속도가 증가되었으며 회전자의 진동이 심함을 알수 있다.

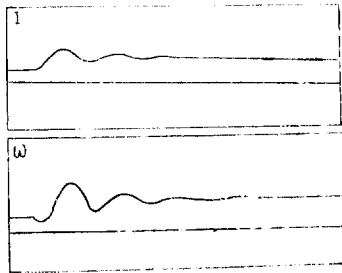


그림 10. 電動機의 界磁電流를 變換한 경우의 回轉子의 電流 및 角速度(5mm/sec)

그림 11은 전동기의 계자전류를 0.09 A에서 -0.09 A 변화시키어 전동기를 逆回轉 시킨 경우의 그림이다. 전동기의 機械的 特定權이 이 系統의 電氣的 時定數보다 적을 수록 전류의 큰 변화없이 전동기를 쉽게 逆回轉시킬 수 있음을 알수 있다.

이 그림에서 보면 전류의 최대 Overshoot Value는 정

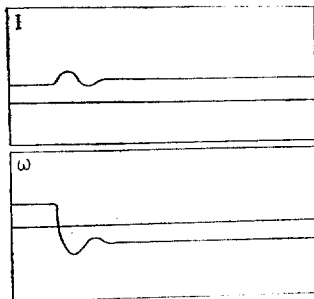


그림 11. 여자전류의 方向을 바꾸었을때 회전자 전류 및 각속도(5mm/sec)

상전류의 약 1.8 배정도이다. 즉 전동기의 界磁回路에 가하는 電壓을 주기적으로 변화하여 전동기를 繼續的으로 逆回轉시킬수 있음을 알수 있다.

그림 12-a는 負荷 토크를 일정이 하고 界磁電流를 0.066 A에서 0.1 A로 변화시킨 경우의 회전자 전류 및 角速度이다. 그림 12-b는 위의 경우 L를 2 배 하였을 때의 회전자 전류 및 각속도를 그린 그림이다.

그림 a와 그림 b를 비교하여 보면 b의 경우는 a보다 감쇠정수 및 주기가 커졌음을 알수 있다.

$$T = R \sqrt{JL} \dots\dots\dots(22)$$

임을 알수 있고 위의 경우 인덕탄스가 2 배가 되었으므로 주기는 약 1.4 배가 증가 하여야 한다.

이 결과는 실험치와 계산치가 잘 일치함을 알수 있다.

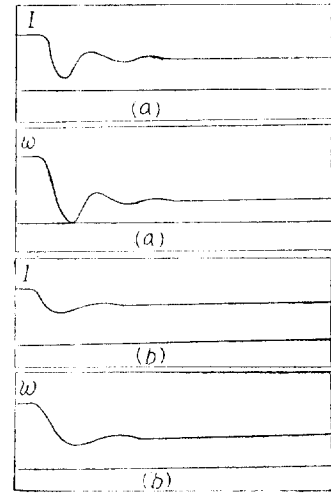


그림 12. 인덕탄스의 값을 2 배로 했을때의 회전자 전류 및 각속도(5 mm/sec)

그림 13은 부하의 토크를 零으로 하였을때의 회전자 속도와 전류를 그린 그림이다. 부하의 토크가 零인 경우 Equilibrium State는 원점이고 따라서 \dot{E}_{ge} 의 값은 커서

$$\frac{D}{J} + \frac{R - \dot{E}_{ge}}{L} < 0 \dots\dots\dots(23)$$

로 되어 회전자속도 및 전류는 증가 하게 된다. 전류가 증가함에 따라 \dot{E}_{ge} 의 값은 점점 감소하여

$$\frac{D}{J} + \frac{R - \dot{E}_{ge}}{L} > 0 \dots\dots\dots(17)$$

가 되면 회전자속도 및 전류는 감소하여 零으로 되었다가 回轉子가 갖인 運動 Energy로 회전 방향은 반대로 되고 전류도 그 방향이 반대로 된다.

이와 같은 것이 반복되어 전동기는 계속 왕복운동을 하게 된다. 이 결과는 Van der pol의 방정식의 解와 비슷하게 됨을 알수 있다.

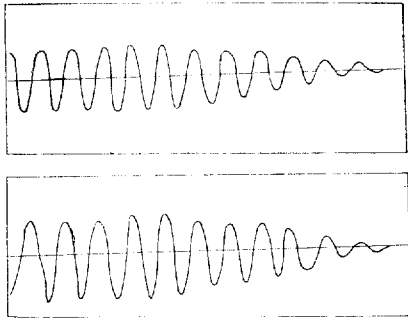


그림 13. 부하 토크가 零인 경우의 회전자 각속도 및 전류

7. 結 論

앞에서 論한 理論 및 實驗의 結果를 요약하면 아래와 같다.

- (1) 電動機를 起動한 경우 起動電流는 空에서 부터 서서히 증가하고 Overshoot 되는 값이 비소하다.
- (2) 電動機의 계자전류의 변화로서 속도제어를 할수있고 負荷 토크가 증가함에 따라 回轉速度가 증가한다. 그리고 부하가 어느정도 이상으로 증가하면 다시 속도가 감소한다.
- (3) 電動機의 관성모멘트를 감소시키거나 인덕탄스를 증가시키면 安定한 Equilibrium state의 범위도 증가하고 회전자 진동의 감쇠 정수가 커져서 진동이 빨리 감쇠된다.

(4) 계자전류의 방향을 주기적으로 변화시키어 電動機를 逆回轉하는 경우 기계적 시정수에 비하여 전기적 시정수를 크게하면 할수록 전류가 overshoot 되는 율을 적게하여 電動機를 逆回轉시킬수 있다.

(5) Computer에서 얻은 값은 計算值 및 實測值와 잘 일치하고 以後 이 Computer에 의한 여러결과를 분석하면 쉽게 이 계통의 諸 特性 및 이 系統에 쓰일 發電機 및 電動機의 설계에 있어서 諸 定數를 결정할 수 있으리라고 믿는다.

끝으로 이 論文작성에 성원하여 주신 主任教授 禹亨暉 선생님을 비롯하여 여러 教授님들에게 감사를 드리고 특히 始終 아낌없이 지도하여 주시고 편달하여 주신 指導教授 李承院 선생님과 朴旻鎬教授님에게 다시 감사를 드립니다.

參 考 文 獻

- (1) 李承院: 直流機
- (2) 朴旻鎬: 電動機應用
- (3) 梁興錫: 자동제어계통의 해석과 설계
- (4) 丁性桂: 過渡現象
- (5) L.A. pipes: Applied Mathematics for Engineers and Physicists.
- (6) White and Woodson: Electromechanical Energy Conversion
- (7) 石黑美種: 電氣工學實驗

1967年 4月 11日 接受