大韓電氣學會誌 Vol. 14, No. 5, December 1965

論 文
14—5—4

周波數 變化에 依한 誘導電動機의 特性

(Characteristics of Induction Motor by Changing the Frequency of Source)

朴 旻 鎬* 韓 松 曄**
(Park Min Ho · Han Song Yop)

ABSTRACT

There are several methods of speed control in induction motors. One of which is to change the frequency of source but was not used frequently because of he difficulty of frequency-change. Then, the development of frequency chager using semiconductor enables the method useful.

In this paper the speed characteristics of mechanical output, secondary input torque and secondary power factor are described when the frequency of source and voltage which is proportional to the frequency of source in order to make the flux in the air gap in constant, are changed.

The above characteristics are searched on the basis of the rated characteristics of the motor. Because the ratio of these is proportional to that of the secondary current or the square value of it. To get the ratio of the secondary current, a current circle diagram is introduced, and the magnitude of the ratio from this diagram is accurate and simple. Experimental results are in good agreement with theoretical predictions.

1. 緖 論

Semiconductor 를 使用한 Static Invertor 或은 frequency convertor 의 開發은 同時에 可變周波數 電源을 쉽게 얻을 수 있게 했다[1]. 따라서 종전에 그렇게 生覺을 하지 않았던 交流機의 周波數制御에 依한 速度制御 或은 Position Servomechanisms 가 새로운 分野로 活潑히 硏究되게 될 것이다.

誘導電動機도 위에 말한 경우의 하나에 適用될 수가 있고 Converter 로 誘導機를 運轉하는 경우 特히 廣範圍한 速度가 要求될 때는 周波數에 對한 特性이 必要할 것이나 아직 여기에 對한 文獻이 흔치 않다.

筆者들은 이러한 경지에서 우선 供給周波數를 여러가지로 變更하였을 경우 正常狀態에서 誘導電動機의 機械的 出力, Torque, 力率 等의 量的 關係에 對하여 生覺하였다. 本 論文에서는 먼저 종래의 定格周波數, 定格電壓의 電動機의 特性을 基準으로 하고 電流圓線圖를 使用하여 實驗結果와 理論的 考察을 記述하려고 한다.

2. 可變周波數에 依한 電動機 特性

(A) 周波數 變更에 依한 電流變化

定格周波數, 定格電壓에 依해 slip s_f 로 運轉되고 있는 誘導電動機의 正常狀態에서의 等價回路는 **그림 1**(a)와 같이 된다.

이 電動機에 變更周波數의 電源을 印加할 적에 電源電壓을 $\alpha_k V_1$ 電源周波數를 $\alpha_k f_1$ 으로 印加할 때의 等價回路는 **그림 1**(b)와 같고,

$$\alpha_k V_1 = 4.44\,\alpha_k f_1 \Phi m \quad \cdots\cdots(1)$$

가 되고, 空隙 磁束은 周波數 變更에 無關係로 언제나 一定한 값이 된다. 周波數, 電源 電壓이 α_k 倍가 되었을 때는 **그림 1**(b)에서 아는 바와 같이 回路의 定數中 漏洩리악탄스는 α_k 倍가 된다. 보통 이 system 에서는 定格周波數보다 낮은 周波數 即 $\alpha_k<1$ 로 速度制御하는 것이 常例이다. **그림 1**(b)의 等價回路에서 다음과 같은 電壓式이 얻어진다.

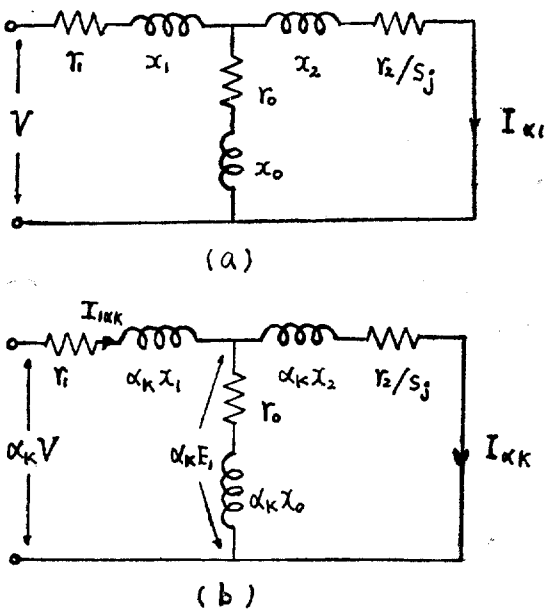
$$\alpha_k \dot{V} = \alpha_k \dot{E}_1 + \mathrm{I}_{1\alpha k}\dot{Z}_{1\alpha k} = \alpha_k \dot{E}_1\left[1+\left(\frac{\dot{Z}_{1\alpha k}}{\dot{Z}_{0\alpha k}}+\frac{\dot{Z}_{1\alpha k}}{\dot{Z}_{2\alpha k}}\right)\right] \quad \cdots\cdots(2)$$

여기서 $\dot{Z}_{1\alpha k}$ 는 적은 값이나 $\alpha_k<1$ 인 경우에는 더 적어 진다. 위의 式에서 $\dot{Z}_{1\alpha k}/\dot{Z}_{0\alpha k}\fallingdotseq 0$ 으로 하면 式 (2)는

$$\alpha_k \dot{V} = \alpha_k \dot{E}_1 + \frac{\dot{Z}_{1\alpha k}}{\dot{Z}_{2\alpha k}}\alpha_k \dot{E}_1 = \alpha_k \dot{E}_1 + I_{\alpha k}\dot{Z}_{1\alpha k} \quad \cdots(3)$$

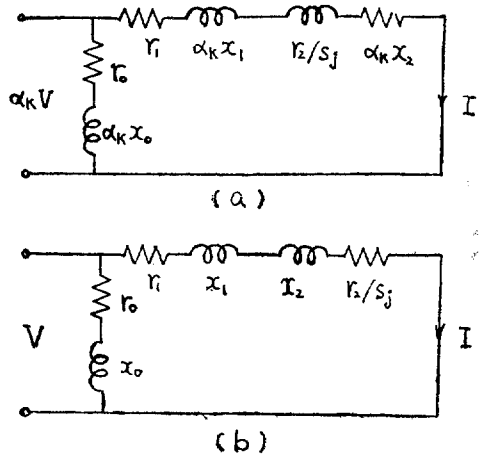
로 表示되고 **그림 2**(a)의 簡易等價回路로 表示되고 $\alpha_k=1$ 인 경우는 **그림 2**(b)와 같다. 이들 그림에서 一次로

*서울工大 副敎授 · 正會員
**大田工專 專任講師 · 正會員



(a) 3 相誘導電動機의 一相의 等價回路
(b) 周波數, 電壓을 α_k 倍한 경우의 等價回路

그림 1.



(a) 周波數 α_k 倍일 때의 間易 等價回路
(b) $\alpha_k=1$ 일 때의 簡易 等價回路

그림 2.

換算한 二次電流는

$$I_{\alpha k}=\frac{\alpha_k\dot{V}}{\left(\gamma_1+\frac{\gamma_2}{s_j}\right)+j\alpha_k(x_1+x_2)}=\frac{\dot{V}}{\frac{\gamma_1+\frac{\gamma_2}{s_j}}{\alpha_k}+j(x_1+x_2)}\quad\cdots\cdots(4)$$

$\alpha_k=1$ 일 때의 電流는

$$\dot{I}_{\alpha 1}=\frac{\dot{V}}{\left(\gamma_1+\frac{\gamma_2}{s_j}\right)+j(x_1+x_2)}\quad\cdots\cdots(5)$$

이 된다.

따라서 定格周波數에 對한 電流變化의 比는 式(4)와 式(5)에서

$$\frac{\dot{I}_{\alpha k}}{\dot{I}_{\alpha 1}}=\frac{\gamma_1+\frac{\gamma_2}{s_j}+j(x_1+x_2)}{\frac{\gamma_1+\frac{\gamma_2}{s_j}}{\alpha_k}+j(x_1+x_2)}\quad\cdots\cdots(6)$$

이 된다.

(B) 機械的 出力 Torque 및 力率

誘導電動機의 機械的 出力은

$$P_{k\alpha 1}=\frac{m_1V^2}{\left(\gamma_1+\frac{\gamma^2}{s_j}\right)^2+(x_1+x_2)^2}\cdot\frac{1-s_j}{s_j}\gamma_2\cdots(7)$$

이고 slip s_j 일 때의 경우이다. 式(5)에 依해 다시 쓰면

$$P_{k\alpha 1}=m_1I_{\alpha 1}\gamma_2\frac{1-s_j}{s_j}\quad\cdots\cdots(8)$$

이 된다. 지금 이 電動機에 周波數 α_kf_1, 電壓 α_kV, 即 周波數 變更에 比例되는 電壓을 印加할 경우 같은 slip s_j 에 있어서의 機械的 出力은

$$P_{k\alpha k}=\frac{m_1V^2}{\frac{1}{\alpha_k^2}\left(\gamma_1+\frac{\gamma_2}{s_j}\right)^2+(x_1+x_2)^2}\cdot\frac{1-s_j}{s_j}\gamma_2$$

$$=m_1I^2_{\alpha k}\frac{1-s_j}{s_j}\gamma^2\quad\cdots\cdots(9)$$

가 되고, 따라서

$$\frac{P_{k\alpha k}}{P_{k\alpha 1}}=\left(\frac{I_{\alpha k}}{I_{\alpha 1}}\right)^2\quad\cdots\cdots(10)$$

이 된다.

같은 方法으로 2次 入力의 比는

$$\frac{P_{2\alpha k}}{P_{2\alpha 1}}=\left(\frac{I_{\alpha k}}{I_{\alpha 1}}\right)^2\quad\cdots\cdots(11)$$

다음 Torque 比는

$$\frac{T_{\alpha k}}{T_{\alpha 1}}=\frac{(m_2P_{2\alpha k})/(\alpha_kW_o)}{(m_1P_{2\alpha 1})/W_o}=\left(\frac{I_{\alpha k}}{I_{\alpha 1}}\right)^2\frac{1}{\alpha_k}$$

또는

$$\frac{\alpha_kT_{\alpha k}}{T_{\alpha 1}}=\left(\frac{I_{\alpha k}}{I_{\alpha 1}}\right)^2\quad\cdots\cdots(12)$$

가 된다.

力率은 一般的으로

$$\cos\theta_k=\frac{\gamma_1+\frac{\gamma_2}{s_j}}{\left[\left(\gamma_1+\frac{\gamma_2}{s_j}\right)^2+\alpha^2_k(x_1+x_2)^2\right]^{\frac{1}{2}}}$$

이 된다. 定格 周波數인 경우에 對한 比는

$$\frac{\cos\theta_k}{\cos\theta_1}=\frac{\left(\gamma_1+\frac{\gamma_2}{s_j}\right)/Z_{\alpha k}}{\left(\gamma_1+\frac{\gamma_2}{s_j}\right)/Z_{\alpha 1}}$$

$$= \frac{\alpha_k V\left(\gamma_1 + \frac{\gamma_2}{s_j}\right)/\alpha_k V Z_{\alpha k}}{V\left(\gamma_1 + \frac{\gamma_2}{s_j}\right)/V Z_{\alpha 1}}$$

$$= \left(\frac{I_{\alpha k}}{I_{\alpha 1}}\right)\frac{1}{\alpha_k}$$

또는

$$\frac{\alpha_k \cos\theta_k}{\cos\theta} = \frac{I_{\alpha k}}{I_{\alpha 1}} \quad \cdots\cdots (13)$$

여기서

$$Z_{\alpha k} = \left[\left(\gamma_1 + \frac{\gamma_2}{s_j}\right)^2 + \alpha_k^2 (x_1 + x_2)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$Z_{\alpha 1} = \left[\left(\gamma_1 + \frac{\gamma_2}{s_j}\right)^2 + (x_1 + x_2)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

이다.

위의 여러 式에서 보면 任意의 周波數 $\alpha_k f_1$에 있어서 電動機의 諸特性은 定格 周波數 f_1에 있어서 電動機의 特性에 $I_{\alpha k}/I_{\alpha 1}$, 또는 $(I_{\alpha k}/I_{\alpha 1})^2$을 곱한 모양으로 나타난다는 것을 알 수 있다.

3. 周波數 變更에 依한 電流

(A) 電流比 $I_{\alpha k}/I_{\alpha 1}$의 作圖

앞에서 說明한 바와 같이 周波數 變更時의 電動機의 諸特性은 各 경우의 電流比로 나타나므로 電流比를 쉽게 알아 낼수 있는 圓線圖를 그려 보자.

그림 3과 같이 $x-y$의 直角 座標上에 $\overline{OC_{j1}}=1$이 되게 點을 定한다.

中心 $O_j\left(\frac{1}{2},\ -\frac{r_1+r_2/s_j}{2(x_1+x_2)}\right)$

半徑 $\frac{1}{2}\left[1+\left(\frac{r_1+r_2/s_j}{(x_1+x_2)}\right)^2\right]\ \frac{1}{2}$

로 하는 圓 O_j를 그린다. 다음

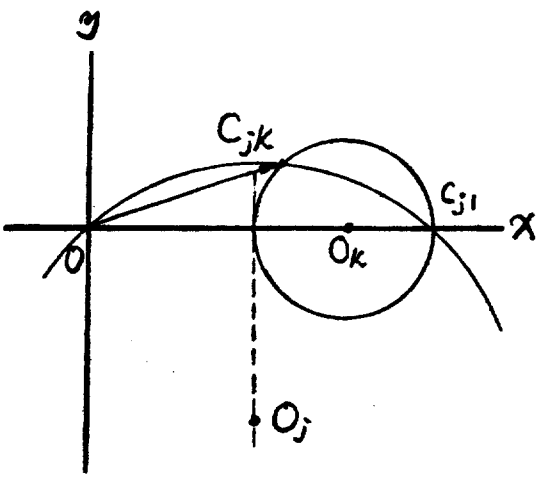


그림 3. 電流比의 크기에 對한 軌跡

中心 $O_k\left(\frac{1+\alpha_k}{2},\ 0\right)$, 半徑 $\overline{O_k C_{j1}}\left(=\frac{1\sim\alpha_k}{2}\right)$

로 하는 圓 O_k를 그린다.

圓 O_k와 圓 O_j의 交點을 C_{jk}라 하면 $\overline{OC_{jk}}$는 求하는 길이 即 $I_{\alpha k}/I_{\alpha 1}$의 길이 이고 規定된 Slip S_j에 있어서 $\alpha_k=1$일 때 電流 $I_{\alpha k}$과 $\alpha=k$일 때의 電流 $I_{\alpha\beta}$와의 比를 나타내는 길이가 된다.

(註) S_j와 α_k는 各各 S=j, $\alpha=k$를 意味하며 $0\leqq f\leqq 1$, $0\leqq K\leqq\infty$ 이다.

(B) 電流比 $I_{\alpha\beta}/I_{\alpha 1}$의 길이 $\overline{OC_{jk}}$의 證明

式(6)에서

$$\left(\frac{I_{\alpha k}}{I_{\alpha 1}}\right)_{sj} = \frac{1+ja_j}{\lambda_k+ja_j} = \frac{\mathbf{A}}{\mathbf{B}}$$

여기서 $a_j=\frac{x_1+x_2}{r_1+\gamma_2/sj}$, $\frac{1}{\alpha_k}=\lambda_k$ 라 한다.

그림 4 에서

$\mathbf{A}=\overrightarrow{OT}=1+ja_j$ 이고, $\mathbf{B}=\overrightarrow{OM}=\lambda_k+ja_j$ 이다. $\mathbf{B}=B\varepsilon^{j\theta}$ 이고 그림 4에서 B는 $\overline{OM}$이고 $\theta=\tan\frac{a_j}{\lambda_k}$는 零에서 180°까지 變化된다.

逆數式

$$\frac{1}{\mathbf{B}} = \frac{1}{\sqrt{\lambda^2_k + a_j^2}}\varepsilon^{-j\theta}$$

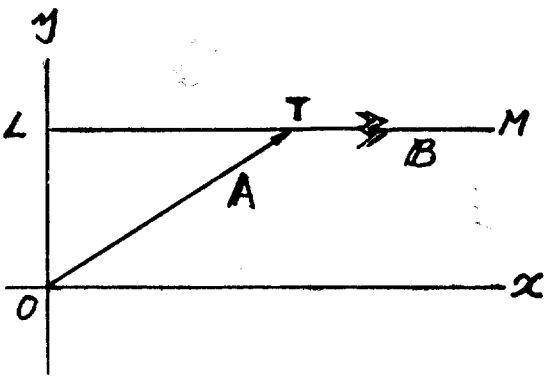


그림 4. A, B의 Vector 線圖

이고 이 圓을 O_j라고 하면 中心은 $\left(0,\ -\frac{1}{2a_j}\right)$, 半徑은 $\frac{1}{2a_j}$이다.

단일 圓 O'_j의 圓周上에 $\alpha=1$이 되는 點을 C'_{j1}라고 하면 $\overrightarrow{OC'_{j1}}=1/(1+ja_1)$이고 $\angle C'_{j1}OC_{j1}=\angle C_{j1}OT$가 된다. 다음 $\alpha=k$되는 點 C_{jk}는 $\overline{OO'j}//\overline{C_{j1}R'}$ 결정한 直線 $\overline{R'C'_{j1}}$ 上에 Q'를 $\overline{Q'R'}=\alpha_k\overline{C'_{j1}R'}$가 되도록 정할때 $\overline{OQ'}$와 圓 O'_j와의 交點이 된다.

다음 $(1+ja_j)/(\lambda_k+ja_j)$의 軌跡은 **그림 6**에서 $x=1$,

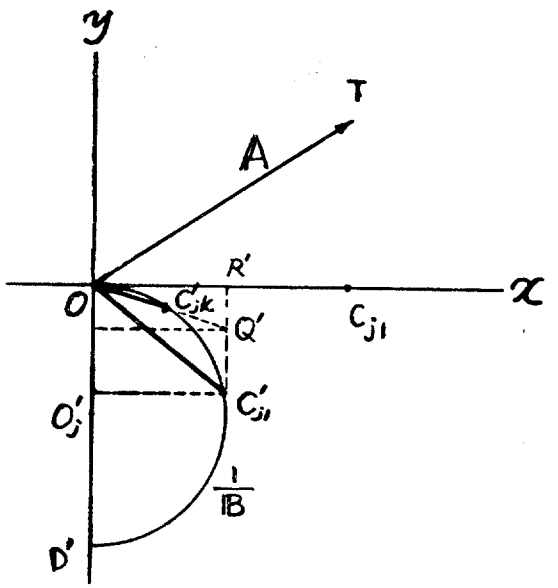


그림 5. Reciprocal Locus of B

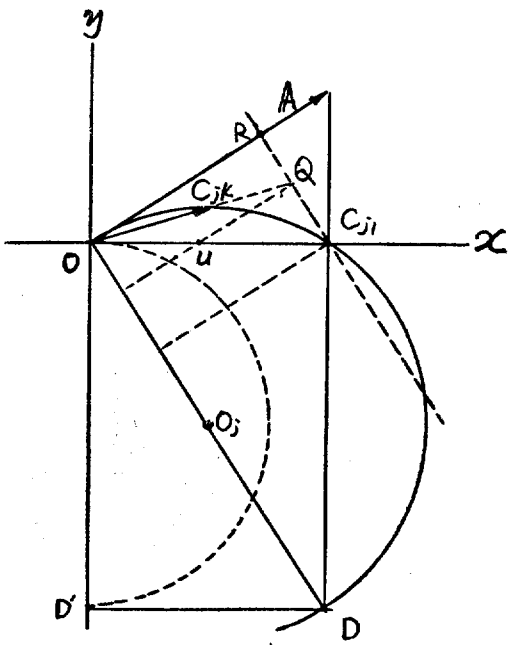


그림 6. $\frac{A}{B}$의 圓線圖

$y=-\frac{1}{a_j}$의 點을 D라 하고 $\overline{OD}$를 直徑으로 하는 圓 O_j를 그리면 이것이 求하는 圓이 되고 C_{j1}을 통과한다. 이 圓의 直徑은

$$\overline{OD}=\sqrt{1+\left(\frac{1}{a_j}\right)^2}=\frac{1}{a_j}\sqrt{1+a_j^2}=\overline{OD'}\sqrt{1+a_j^2}$$

即 이 圓은 圓 O'_j의 $\sqrt{1+a_j^2}$倍이고 $\angle C_{j1}OT=\angle D'OD$가 된다. 다시 말하면 圓 O'_j를 $\angle D'OD(=\tan^{-1}a_j)$로 回轉하고 이 圓을 $\sqrt{1+a_j^2}$倍 擴大시킨 셈이 된다. 따라서 C'_{j1}, C'_{jk}, R', Q'의 관계는 C_{j1}, C_{jk}, R, Q에서도 $\sqrt{1+a_j^2}$倍로 같은 關係가 成立된다. Q에서 $\overline{OD}$에 垂線을 내리고 OC_{j1}과의 交點을 U라고 하면

$$\overline{OD}\perp\overline{OT}$$
$$\overline{C_{j1}R}//\overline{OD}$$
$$\overline{RQ}=\alpha_k\ \overline{C_{j1}R}$$
$$\frac{\overline{OU}}{\overline{OC_{j1}}}=\frac{\overline{RQ}}{\overline{C_{j1}R}}=\alpha_k$$
$$\overline{OC_{j1}}=1$$

이므로

$$\overline{OU}=\alpha_k$$

이다.

다음

$$\angle C_{jk}QU-\angle C_{jk}OR=\angle C_{jk}C_{j1}U$$
$$\angle UQC_{j1}=90^\circ$$

이므로 $\triangle C_{j1}Q\ C_{jk}U$는 $\overline{UC_{jk}}$를 直徑으로 하는 圓 O_k에 內接하고 圓 O_k는 中心$\left(\frac{1+\alpha_k}{2},\ 0\right)$, 半徑 $\frac{1-\alpha_k}{2}$이다. 그러므로 I_{ak}/I_{a1}의 比 $\overline{OC_{jk}}$는 圓 O_j와 圓 O_k의 交點이다.

(C) S_j의 값이 적은 경우의 電流比의 近似値

式(6)에서

$$\left(\frac{I_{ak}}{I_{a1}}\right)^2=\frac{1+a_j^2}{\left(\frac{1}{\alpha_j}\right)^2+a_j^2}$$
$$=\frac{\alpha_k^2(1+a_j^2)}{1+\alpha_k^2a_j^2}\quad\cdots\cdots(14)$$

이 된다. 實際의 電動機의 運轉狀態에서는 slip s_j는 $s_j=0.1\sim0$의 범위이므로

$$\alpha^2_ka_j^2\ll1\quad\cdots\cdots(15)$$

이라고 할 수 있다. 그러므로

$$\left|\frac{I_{ak}}{I_{a1}}\right|^2\fallingdotseq\alpha_j^2(1+a_j^2)(1-\alpha_k^2\alpha_j^2)$$
$$\fallingdotseq\alpha_k^2[1+a_j^2(1-\alpha_k^2)]$$
$$\fallingdotseq\alpha_k^2+\alpha_k^2s_j^2(1-\alpha_k^2)\left(\frac{x_1+x_2}{r_2}\right)^2\cdots(16)$$

$$\frac{I_{ak}}{I_{a1}}\fallingdotseq\alpha_k+\frac{\alpha_ks_j^2}{2}(1-\alpha_k^2)\left(\frac{x_1+x_2}{r_2}\right)^2\cdots(17)$$

로 表示되고 比較的 간단이 計算된다.

4. 實驗 測定値 및 結果

(I_{ak}/I_{a1})의 圓線圖를 求하기 위하여 定格電壓 120[V] 定格周波數 60[cps] 3相의 Crown Kit 誘導電動機를 使用하여 無負荷試驗, 拘束試驗 및 抵抗測定을 하여 그림 7의 定數를 얻었다.

이러한 값을 利用하여 Heyland의 圓線圖를 그린후 周波數를 變更시킨 값에 依하여 얻은 値 **表 1**을 이 圓線圖上에 適用시키면 그 圓周上에 놓이고 實驗에서 求한 點과 理論에서 求한 點이 거의 一致한다.〔**그림 8**〕

또 表에서 아는 바와같이 勵磁電流 I_0는 各 周波數에

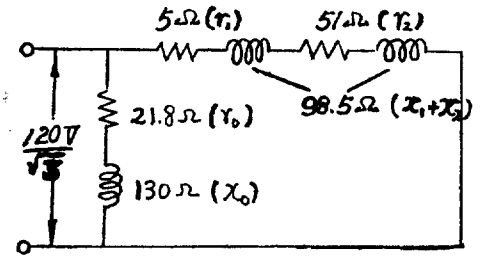


그림 7. 被試驗 電動機의 等價回路

表 1. 周波數를 變更한 경우의 測定値

f (cps)	V (Volt)	I_o (Amp)	W_o (Watt)	I_s (Amp)	W_s (Watt)
60	120	0.525	18	1.12	79
50	100	0.520	13	1.08	70
40	80	0.515	10	1.02	60
30	60	0.510	8	0.92	44

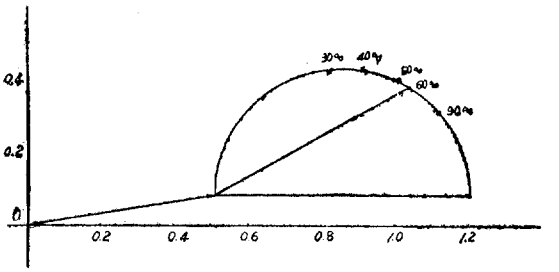


그림 8. 60~에 依한 Heyland 원선도
—○— 理論値 × 實測値

表 2. 그림 9에 의한 電流의 値

Slip / 電流比	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
I_{30}/I_{60}	0.760	0.740	0.712	0.684	0.648	0.616	0.584	0.552	0.520	0.502	0.500
I_{po}/I_{60}	1.08	1.10	1.11	1.14	1.16	1.20	1.25	1.32	1.40	1.47	1.50

表 3. f_1=60 cps, f_k=30 cps인 경우

Slip	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
$\frac{I_{30}}{I_{60}}$	0.760	0.740	0.712	0.684	0.648	0.616	0.584	0.552	0.520	0.502	0.500
$\frac{0.5\cos\theta_{30}}{\cos\theta_{60}}$	0.765	0.722	0.711	0.685	0.656	0.615	0.588	0.557	0.526	0.505	0.500
$\left(\frac{I_{30}}{I_{60}}\right)^2$	0.578	0.548	0.507	0.467	0.420	0.380	0.341	0.305	0.270	0.252	0.250
$\frac{P_{2-30}}{P_{2-60}}$	0.588	0.547	0.510	0.469	0.430	0.384	0.344	0.307	0.274	0.224	—
$\frac{0.5\,T_{30}}{T_{60}}$	0.588	0.547	0.510	0.469	0.430	0.384	0.344	0.307	0.274	0.224	—
$\frac{P_{k30}}{P_{k60}}$	—	0.536	0.507	0.457	0.423	0.386	0.345	0.306	0.278	0.224	—

따라 약간의 差異는 있으나 거의 一定하다고 가정하여도 무방하다.

이와같이 各 實驗値가 60~을 基準으로 한 Heyland의 圓線圖와 一致하므로 이후 이 圓線圖에 의한 모든 값을 實驗値로 보아도 좋다.

本文에 說明한 圓線圖法에 依한 電流比의 計算을 **그림 9**에 依하여 計算하면 **表 2**와 같다.

그림 9에서 아는 바와 같이 slip s_1가 0.1~0의 값에서는 電流比가 그렇게 豫化하지 않으므로 近似値 計算으로 電流比를 求하는 것이 편리하고, 그 例를들면 다

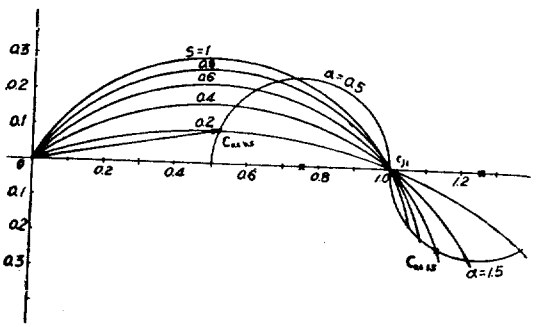


그림 9. 電流比 圓線圖

음과 같다.

$$\left(\frac{I_{30}}{I_{60}}\right)_{S=0.1}=0.5+\frac{0.5\times0.1^2}{2}(1-0.5^2)\left(\frac{98.5}{51}\right)^2$$
$$=0.507$$

$$\left(\frac{I_{30}}{I_{60}}\right)_{S=0}=0.5+0=0.500$$

$$\left(\frac{I_{90}}{I_{60}}\right)_{S=0.1}=1.5+\frac{1.5\times0.1^2}{2}(1-1.5^2)\left(\frac{98.5}{51}\right)^2$$
$$=1.465$$

위의 값을 **表 2**와 비교하면 거의 오차가 없이 一致한다.

實驗値에 의한 特性比와 本文에서 說明한 電流比와를

表 4. $f_1=60$ cps, $f_k=90$ cps 인 경우

Slip	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
$\frac{I_{90}}{I_{60}}$	1.08	1.10	1.11	1.14	1.16	1.20	1.25	1.32	1.40	1.47	1.50
$\frac{0.5\cos\theta_{90}}{\cos\theta_{60}}$	1.07	1.08	1.11	1.14	1.16	1.20	1.26	1.31	1.39	1.46	1.50
$\left(\frac{I_{90}}{I_{60}}\right)^2$	1.18	1.20	1.24	1.29	1.34	1.45	1.96	1.74	1.96	2.16	2.25
$\frac{P_{2-90}}{P_{2-60}}$	1.17	1.19	1.23	1.27	1.34	1.44	1.56	1.75	1.96	2.14	—
$\frac{1.5\,T_{90}}{T_{60}}$	1.17	1.19	1.23	1.27	1.34	1.44	1.56	1.75	1.96	2.14	—
$\frac{P_{k90}}{P_{k60}}$	—	1.18	1.25	1.25	1.34	1.43	1.57	1.73	1.96	2.12	—

式(10)~(13)에 依하여 各各 比較하면 **表 3**, **表 4**와 같다.

表 3, **表 4**의 結果를 보면 實驗値와 圓線圖에 依한 電流比의 値는 거의 一致하고 그 誤差는 1% 以內인 것

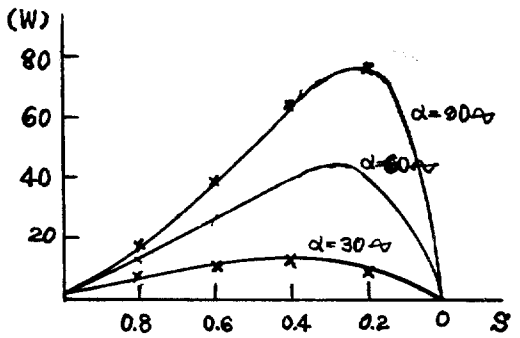


그림 10. 周波數에 依한 Slip-P_{ka} 特性曲線 (機械的 出力)

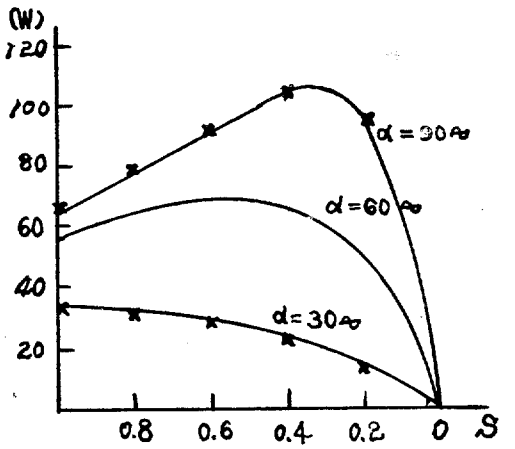


그림 11. 周波數에 의한 Slip-P_{ak} 의 特性曲線 (二次入力)

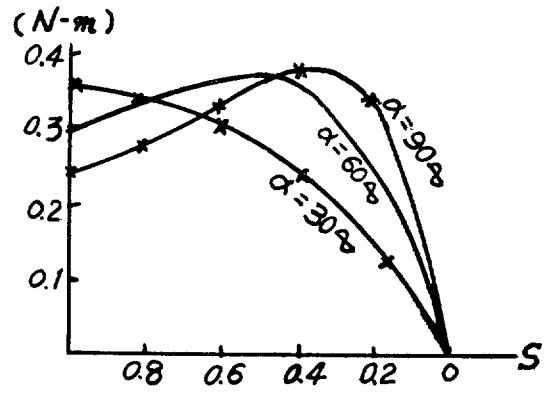


그림 12. 周波數에 의한 Slip-P_{ak} 의 特性曲線(Torque)

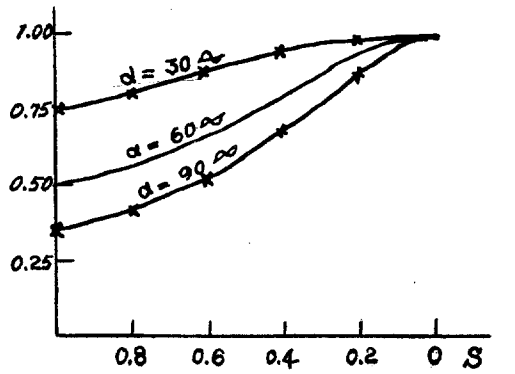


그림 13. 周波數에 의한 Slip-Cos θ_k 의 特性曲線(二次力率)

을 알수 있다. 그리고 s=0.1 에서 誤差가 조금 커진 것은 2次抵抗이 크고 出力이 적은 實驗用 motor를 使用하였기 때문에 無負荷 電流에 誤差가 많이 들어 있기때문이라고 생각한다.

이 方法에 依한 機械的 出力, 2次入力, Torque, 2次力率을 實驗値와 같이 各 Slip에 對하여 圖示하면 그림 **10**, **11**, **12**, 및 **13**과 같이 된다.

5. 結　　論

本 論文은 可變周波數 電源에 依해 誘導電動機의 可變速 運轉을 할때 제일 問題가 되는 電動機 特性을 主로 考察하였다. 即 電流比 圓線圖 및 近似 解析에 依하여 定格特性을 基準으로 한 各 周波數에서의 速度特性을 알아냈다.

可變周波數 誘導電動機의 設計 問題, 最適御制의 問題 周波數 調整 範圍, Inverter 와의 關係 等의 여러가지 問題를 論할 때의 參考가 되리라고 생각한다.

本 研究는 서울工大 研究 補助金에 依한 것이고, 論文 作成中 여러가지 有益한 參考를 提示하여 준 朴永文 講師에 감사를 드린다.

參 考 文 獻

(1) D.A. Bradley: Adjustable-frequency Inverters and their Application to Variable Speed Drive Proc. of I. E.E. Vol III, No. 11, 1964. P. 1833
(2) 朴旻鎬 : 誘導機器(東明社)
(3) 朴旻鎬 : 電動機應用(東明社)
(4) R.W. Jones: Electric Control Systems (John Wiley & Sons Inc)

附　　錄

(i) 그림 **10**의 數値

Slip		1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
30 cycle	實測値	0	3.12	6.34	9.15	11.6	13.3	13.9	13.1	10.6	5.62	0
	計算値	0	3.19	6.35	9.34	11.5	13.1	13.7	13.1	10.3	6.30	0
60 cycle	實測値	0	5.82	12.5	20.0	27.4	34.5	40.3	42.8	38.2	25.0	0
90 cycle	實測値	0	6.86	15.6	24.9	36.8	49.3	63.0	74.2	74.8	53.0	0
	計算値	0	6.99	15.5	25.8	36.7	50.0	62.9	74.5	74.8	54.0	0

(ii) 그림 **11**의 數値

Slip		1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
30 cycle	實測値	33.2	33.0	32.4	31.1	29.2	26.6	23.2	18.8	13.2	6.2	0
	計算値	32.7	33.0	32.2	31.0	28.8	26.4	23.1	17.6	13.0	7.0	
60 cycle	實測値	56.5	60.2	63.5	66.4	68.5	69.4	67.6	61.0	48.1	27.8	0
90 cycle	實測値	66.1	71.4	78.0	84.2	91.7	99.7	105.3	106.7	94.2	59.3	0
	計算値	66.6	72.3	68.7	85.6	91.8	100.5	106.5	106.0	94.3	60.0	

(iii) 그림 **12**의 數値

Slip		1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
30 cycle	實測値	0.353	0.351	0.344	0.330	0.310	0.282	0.246	0.200	0.140	0.069	0
	計算値	0.347	0.351	0.342	0.329	0.306	0.280	0.245	0.198	0.138	0.074	0
60 cycle	實測値	0.300	0.320	0.337	0.352	0.364	0.368	0.359	0.324	0.256	0.148	0
90 cycle	實測値	0.234	0.252	0.278	0.298	0.324	0.353	0.373	0.378	0.334	0.210	0
	計算値	0.236	0.256	0.278	0.302	0.325	0.356	0.373	0.376	0.334	0.213	0

(iv) 그림 13의 數値

Slip		1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
30 cycle	實測値	0.75	0.78	0.81	0.85	0.88	0.91	0.94	0.99	0.99	1.00	1.00
	計算値	0.75	0.80	0.81	0.85	0.87	0.91	0.93	0.96	0.98	0.99	1.00
60 cycle	實測値	0.93	0.54	0.57	0.62	0.67	0.74	0.80	0.87	0.94	0.99	1.00
90 cycle	實測値	0.35	0.39	0.42	0.47	0.52	0.59	0.67	0.76	0.87	0.96	1.00
	計算値	0.35	0.39	0.42	0.47	0.52	0.59	0.67	0.77	0.88	0.97	1.00

(v) **List of Symbol**

V : 定格電壓

f_1 : 定格周波數

f_k : 任意의 周波數

α_k : 周波數比(f_k/f_1)

$0 \leqq k \leqq \infty$

λ_k : $1/\alpha_k$

s_j : slip

$0 \leqq j \leqq 1$

$Z_1 = r_1 + jx_1$: 一次 一相 Impedance

$Z_2 = r_2 + jx_2$: 一次로 換算한 2次 Impedance

$Z_o = r_o + jx_o$: 勵磁 Impedance

$a_j = \dfrac{x_1 + x_2}{r_1 + \dfrac{r_2}{s_j}}$

T_{ak} : f_k 에서의 Torque

P_{2ak} : f_k 에서의 2次入力

P_{kak} : f^k 에서의 機械的 出力

$\cos\theta_k$: f_k 에서의 2次力率

I_{ak} : f_k 에서 1차로 환산한 2차전류

I_o : 무부하 전류

W_o : 무부하시의 入力

I_s : 回轉子拘束時의 電流

W_s : 回轉子拘束時의 入力

ω_o : 同期角速度$\left(2\pi \cdot \dfrac{120\,f_1}{p}\right)$

(1965年 12 月 7 日 接受)