

誘導型積算電力計의 周波數特性에 關한 研究

李 成 稷 · 盧 彰 注

Study on Frequency Characteristics of Induction Type Watt-hour meter

Sung-Bok Lee, Chang-Joo Noh

目 次	
1. 序 論	4. 實驗裝置 및 實驗方法
2. 誘導型 積算電力計의 廻轉速度式	4.1 實驗裝置
3. 誘導型 積算電力計의 周波數特性	4.2 實驗方法
3.1 負荷力率 1.0일 때의 周波數特性	5. 實驗結果 및 檢討
3.2 遲力率 0.5일 때의 周波數特性	6. 結 論
3.3 進力率 0.5일 때의 周波數特性	

Abstract

When the power controlled by SCR or TRIAC is delivered to the load, it is desirable to find out the effect that higher harmonics comprised in the power give to the error of electric energy measured with a induction type watt-hour meter.

So, the authors calculated theoretically the errors of watt-hour meter which arose when the frequency of power supply changed from 10[Hz] to 240[Hz] and found that this errors changed widely according to the change of frequency and that of the load power factor, the values of the errors being as follows.

f [Hz]		10	20	30	40	50	60	80	100	120	180	240
ϵ [%]	P. F. = 1.0	-12.7	1.3	3.2	2.9	1.6	0	-4.5	-10.1	-15.9	-33.4	-48.7
	lagging P. F. = 0.5	-75.9	-28.6	-12.3	-4.9	-1.3	0	-1.0	-4.5	-9.4	-26.9	-42.9
	leading P. F. = 0.5	50.6	31.2	18.8	10.7	4.5	0	-8.1	-15.6	-22.4	-39.9	-54.5

For experimet, the authors generated the electric power of 60~120[Hz] by operating

wound-type induction motor as generator and measured the consumed electric energy with 60[Hz] watt-hour meter when this electric power was supplied to the loading resistor. Then the errors of this measured values were calculated and confirmed to agree with the errors acquired theoretically.

With this tendency, we can tell that the electric energy of higher harmonics will be measured much less than the actual value really consumed.

I. 序 論

SCR 또는 TRIAC 등에 의해서制御된 電力을 負荷에 供給하고 그 消費電力量을 誘導型積算電力計에 의하여 計測할 때, 實際로 消費된 電力量보다 相當히 적게 計測된다는 것은 昨年度(1976) 論文에 밝힌바 있다. 그런데 이 誤差의 原因이 되는 高調波電力을 負荷에 供給하고 消費電力量을 60[Hz]用 誘導型積算電力計로 計測할 때, 誤差가 어떻게 되는지를 究明하는 것이 本論文의 目的이다. 그래서 理論的으로는 10~240[Hz]의 廣範圍周波數帶에 대해서 誘導型積算電力計의 誤差를 計算하고 實驗的으로는 捲線型誘導電動機를 廻轉磁界와 反對方向으로 停止狀態로부터 1800[rpm](同期速度)까지 速度調整하여 60~120[Hz]의 電力을 發生시켜 이 周波數帶의 電力量을 計測할 적에 생기는 積算電力計의 誤差를 測定하고, 理論式으로부터 誘導된 誤差와 一致하는 것을 確認하였다. 그리고 240[Hz]以上の 周波數에 對한 誤差도 理論的으로 計算할 수 있고 또 240[Hz]까지의 誤差曲線으로부터 그 大略을 推定할 수도 있다.

2. 誘導型積算電力計의 廻轉速度式

誘導型 積算電力計의 廻轉圓板에 作用하는 驅動廻轉力 T_d 는

$$T_d = k_1 \omega \frac{\Phi_p \Phi_c}{Z_d} \sin \theta \cos \alpha \dots \dots \dots (1)$$

但

k_1 : 比例常數

ω : 角周波數

Φ_p : 電壓線輪에 依한 磁束

Φ_c : 電流線輪에 依한 磁束

Z_d : 廻轉圓板內의 渦流回路의 等價임피던스로서 $Z_d = \sqrt{R_d^2 + X_d^2}$

θ : Φ_p 와 Φ_c 와의 相差角

α : 廻轉圓板內의 渦流回路의 等價力率角

制御用 永久磁石에 依한 制御廻轉力 T_c 는

$$T_c = k_2 n \Phi_m^2 \dots \dots \dots (2)$$

但

k_2 : 比例常數

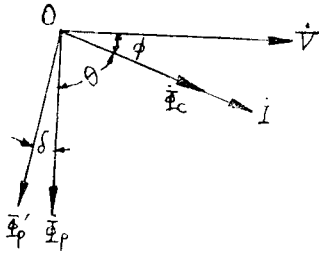
n : 廻轉圓板의 廻轉速度

Φ_m : 制御用 永久磁石에 依한 磁束(一定)

積算電力計의 廻轉圓板은 T_d 와 T_c 가 平衡되는 速度로 廻轉하므로 그 廻轉速度 n 은 다음과 같이 된다

$$n = \frac{k_1}{k_2 \Phi_m^2} \omega \frac{\Phi_p \Phi_c}{Z_d} \sin \theta \cos \alpha \dots \dots \dots (3)$$

그런데 Φ_p 는 供給電壓 V 에 比例하고 電壓線輪의 인덕턴스 $Z_p = \sqrt{R_p^2 + X_p^2}$ 에 反比例하며 Φ_c



는 負荷電流 I 에 比例하므로 $\Phi_p \Phi_c = k_3 VI / Z_p$ 로 된다. 그리고 Φ_p 의 位相角은 供給電壓의 周波數가 $f=60[\text{Hz}]$ 時 供給電壓보다 90° 뒤지므로(實은 角은 約 85° 이나 位相調整裝置에 의해서 電壓磁極으로부터 나오는 合成磁束의 位相이 供給電壓보다 90° 뒤지도록 調整됨. 이때 合成磁束의 크기는 Φ_p 와 同一) I 의 位相이 V 보다 뒤지는 角을 ϕ 로 하면 $\theta = 90^\circ - \phi$ 로 된다. 그러나 周波數가 $60[\text{Hz}]$ 보다 增加하면 Φ_p 의 位相角은 커지고 $60[\text{Hz}]$ 보다 減少하면 Φ_p 의 位相角은 작아진다. 그러므로 周波數가 $60[\text{Hz}]$ 에서 變化할 때 생기는 Φ_p 의 位相角의 增加分을 δ 로 하면

그림 1. 積算電力計의 Phasor Diagram

$$\theta = 90^\circ - (\phi - \delta)$$

$$\therefore \sin\theta = \cos(\phi - \delta) = \cos\phi \cos\delta (1 + \tan\phi \tan\delta)$$

따라서 (3)式은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} n &= \frac{k_1 k_3}{k_2 \Phi_m^2} \omega \frac{VI \cos\phi \cos\delta (1 + \tan\phi \tan\delta)}{Z_p Z_d} \cos\alpha \\ &= \frac{k_1 k_3}{k_2 \Phi_m^2} \omega \frac{VI \cos\phi \cos\delta (1 + \tan\phi \tan\delta)}{\sqrt{R_p^2 + X_p^2} \sqrt{R_d^2 + X_d^2}} \cdot \frac{R_d}{\sqrt{R_d^2 + X_d^2}} \\ &= \frac{k_4 \cos\delta (1 + \tan\phi \tan\delta)}{\sqrt{R_p^2 + (\omega L_p)^2} \left(\frac{R_d^2}{\omega} + \omega L_d^2 \right)} VI \cos\phi \\ &= \frac{k_4 \cos\delta (1 + \tan\phi \tan\delta)}{\sqrt{R_p^2 + (2\pi f L_p)^2} \left(\frac{R_d^2}{2\pi f} + 2\pi f L_d^2 \right)} VI \cos\phi \\ &= K(f) VI \cos\phi \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

$$\text{但 } K(f) = \frac{k_4 \cos\delta (1 + \tan\phi \tan\delta)}{\sqrt{R_p^2 + (2\pi f L_p)^2} \left(\frac{R_d^2}{2\pi f} + 2\pi f L_d^2 \right)} \dots\dots\dots(5)$$

$$k_4 = \frac{k_1 k_3 R_d}{k_2 \Phi_m^2} \quad (f \text{ 및 } \phi \text{ 와 無關係한 定數})$$

R_p : 電壓線輪의 抵抗

L_p : 電壓線輪의 인덕턴스

R_d : 廻轉圓板內 渦流回路의 等價抵抗

L_d : 廻轉圓板內 渦流回路의 等價인덕턴스

(4)式에 依하여

$$K(f) = \frac{n}{VI \cos\phi} \dots\dots\dots(6)$$

로 되므로 $K(f)$ 는 單位消費電力當 廻轉圓板의 廻轉速度로 되고 그 單位는 $[\text{Rev}/\text{hour}/\text{W}] = [\text{Rev}/\text{Wh}]$ 로 되므로 1[Watt-hour]當 廻轉數 即 積算電力計의 計器定數로 된다. 그런데 計器定數는 普通 1[kWh]當 廻轉數로 表示되므로 이 單位로 表示한 計器定數를 $K'(f)$ 로 하면

$$K'(f) = 1000K(f) = \frac{k_4' \cos\delta (1 + \tan\phi \tan\delta)}{\sqrt{R_p^2 + (2\pi f L_p)^2} \left(\frac{R_d^2}{2\pi f} + 2\pi f L_d^2 \right)} [\text{Rev}/\text{kWh}] \dots\dots(7)$$

$$\text{但 } k_4' = \frac{1000k_1k_3R_d}{k_2\Phi_m^2}$$

로 表示되고 이 값은 $f=60[\text{Hz}]$ 時 計器에 따라서 1200, 2000, 2500[Rev/kWh] 등의 값을 갖게 되는데 이 값은 制御用永久磁石과 廻轉圓板과의 關係位置를 調整하면 (2) 式에 있어서 k_2 가 變하므로 調整할 수 있다.

(5) 式의 $K(f)$ 는 f 및 負荷力率角 ϕ 의 函數로서 周波數와 負荷力率이 一定하면 $K(f)$ 도 一定으로 되나 周波數 또는 負荷力率이 變化하면 $K(f)$ 의 값이 달라지므로 (6) 式에 의하여 單位消費電力當 廻轉圓板의 廻轉速度 따라서 單位消費電力量當 廻轉數가 달라지므로 計測된 電力量에 誤差가 생기게 된다.

3. 誘導型 積算電力計의 周波數特性

積算電力計의 周波數變化에 依한 誤差 卽 周波數特性은 (5) 式의

$$K(f) = \frac{k_4 \cos \delta (1 + \tan \phi \tan \delta)}{\sqrt{R_p^2 + (2\pi f L_p)^2} \left(\frac{R_d^2}{2\pi f} + 2\pi f L_d^2 \right)}$$

에 있어서 周波數 f 의 變化에 따른 $K(f)$ 의 變化狀態를 檢討하면 될 것이다. (5) 式에서 알 수 있는 바와 같이 $K(f)$ 는 같은 周波數 f 에 對해서도 負荷力率에 따라서 달라진다. 負荷力率이 1.0일 때에는 $\tan \phi = 0$ 으로 되므로 이 때의 $K(f)$ 의 값을 $K_0(f)$ 로 하면

$$K_0(f) = \frac{k_4 \cos \delta}{\sqrt{R_p^2 + (2\pi f L_p)^2} \left(\frac{R_d^2}{2\pi f} + 2\pi f L_d^2 \right)} \dots \dots \dots (8)$$

로 되고 $K(f)$ 는 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$K(f) = K_0(f) (1 + \tan \phi \tan \delta) \dots \dots \dots (9)$$

故로 力率이 1.0일 때의 周波數特性을 알면 任意力率일 때의 周波數特性을 求할 수 있다.

3.1 負荷力率이 1.0일 때의 周波數特性

負荷力率이 1.0일 때의 周波數特性은 (8) 式에 있어서 周波數 f 의 變化에 따라 $K_0(f)$ 가 어떻게 變化하는지를 調査하면 알 수 있다. 그런데 $f=60[\text{Hz}]$ 時 Φ_p 의 位相角은 約 85° 이므로

$$\frac{2\pi f L_p}{R_p} = \tan 85^\circ = 11.43$$

$$\therefore L_p = \frac{11.43}{2\pi f} R_p = \frac{11.43}{2\pi \times 60} R_p = 0.03032 R_p \dots \dots \dots (10)$$

또 積算電力計 廻轉圓板의 渦流回路는 鐵心이 들어 있지 않으므로 等價리액턴스는 大端히 작을 것이다. 故로 $f=60[\text{Hz}]$ 時 $X_d/R_d=0.26$ 으로 看做하면

$$L_d = \frac{0.26}{2\pi f} R_d = \frac{0.26}{2\pi \times 60} R_d = 6.897 \times 10^{-4} R_d \dots \dots \dots (11)$$

(10), (11) 式을 (8) 式에 代入하면

$$\begin{aligned} K_0(f) &= \frac{k_4 \cos \delta}{R_p R_d^2 \sqrt{1 + 0.03629 f^2} \left(\frac{0.1592}{f} + 2.989 \times 10^{-6} f \right)} \\ &= k_5 K_0'(f) \dots \dots \dots (12) \end{aligned}$$

$$\text{但 } k_5 = \frac{k_4}{R_p R_d^2} \text{ (} f \text{와 關係없는 定數)}$$

$$K_0'(f) = \frac{\cos\delta}{\sqrt{1+0.03629f^2} \left(\frac{0.1592}{f} + 2.989 \times 10^{-6}f \right)} \dots\dots\dots (13)$$

따라서 $K_0(f)$ 를 생각하는 대신에 $K_0'(f)$ 를 생각하면 될 것이다.

먼저 周波數 f 에 對한 δ 의 값을 求하기로 한다. $f=60[\text{Hz}]$ 時 Φ_p 의 位相角이 約 85° 이므로

$$\left(\frac{X_p}{R_p} \right)_{f=60} = \tan 85^\circ = 11.43$$

따라서 $f=120[\text{Hz}]$ 時는

$$\left(\frac{X_p}{R_p} \right)_{f=120} = 11.43 \times \frac{120}{60} = 22.86$$

故로 Φ_p 의 位相角은

$$\theta_p = \tan^{-1} 22.86 = 87.5^\circ \quad \therefore \delta = 87.5^\circ - 85^\circ = 2.5^\circ$$

以上과 같은 方法으로 各周波數에 對한 δ 의 값을 求하면 다음과 같다.

<表 1>

$f[\text{Hz}]$	10	20	30	40	50	60	80	100	120	180	240
$\delta[^\circ]$	-22.7	-9.7	-5.0	-2.5	-1.0	0	1.2	2.0	2.5	3.3	3.7

다음에 各周波數에 對한 $K_c'(f)$ 의 값을 (13式)에 依해서 求하고 $f=60[\text{Hz}]$ 에 對한 $K_0'(f)$ 의 값을 基準으로한 誤差 ε 를 求하면 다음 表 2와 같이 된다.

<表 2>

$f[\text{Hz}]$	10	20	30	40	50	60	80	100	120	180	240
$K_0'(f)$	26.9	31.2	31.8	31.7	31.3	30.8	29.4	27.7	25.9	20.5	15.8
$\varepsilon[\%]$	-12.7	1.3	3.2	2.9	1.6	0	-4.5	-10.1	-15.9	-33.4	-48.7

表 2에 依해서 負荷力率이 1.0일 때의 積算電力計 周波數特性을 그리면 그림 2의 曲線 $K_0'(f)$ 와 같이 된다. 이 그림에서 LM線의 上部는 (+)誤差를 表示하는 部分이고 LM線의 下部는 (-)誤差를 表示하는 部分이 된다.

3.2 遲力率 0.5일 때의 周波數特性

(9), (12)式에 依해서 任意 力率에 對한 計器定數 $K(f)$ 는

$$K(f) = k_0 K_0'(f) (1 + \tan\phi \tan\delta) = k_5 K'(f)$$

$$\text{但 } K'(f) = K_0'(f) (1 + \tan\phi \tan\delta) \dots\dots\dots (14)$$

故로 任意 力率에 對한 周波數特性은 $K'(f)$ 를 생각하면 될 것이고 遲力率 0.5일 때 $\tan\phi = 1.732$ 이므로 이 때의 $K'(f)$ 의 값을 $K_1'(f)$ 로 하면

$$K_1'(f) = K_0'(f) (1 + 1.732 \tan\delta) \dots\dots\dots (15)$$

表 1과 表 2를 利用해서 各周波數에 對한 $K_1'(f)$ 의 값을 (15)式에 依해서 求하고 $f=60[\text{Hz}]$ 時의 $K_1'(f)$ 의 값을 基準으로한 誤差 ε 를 求하면 다음 表 3과 같이 된다.

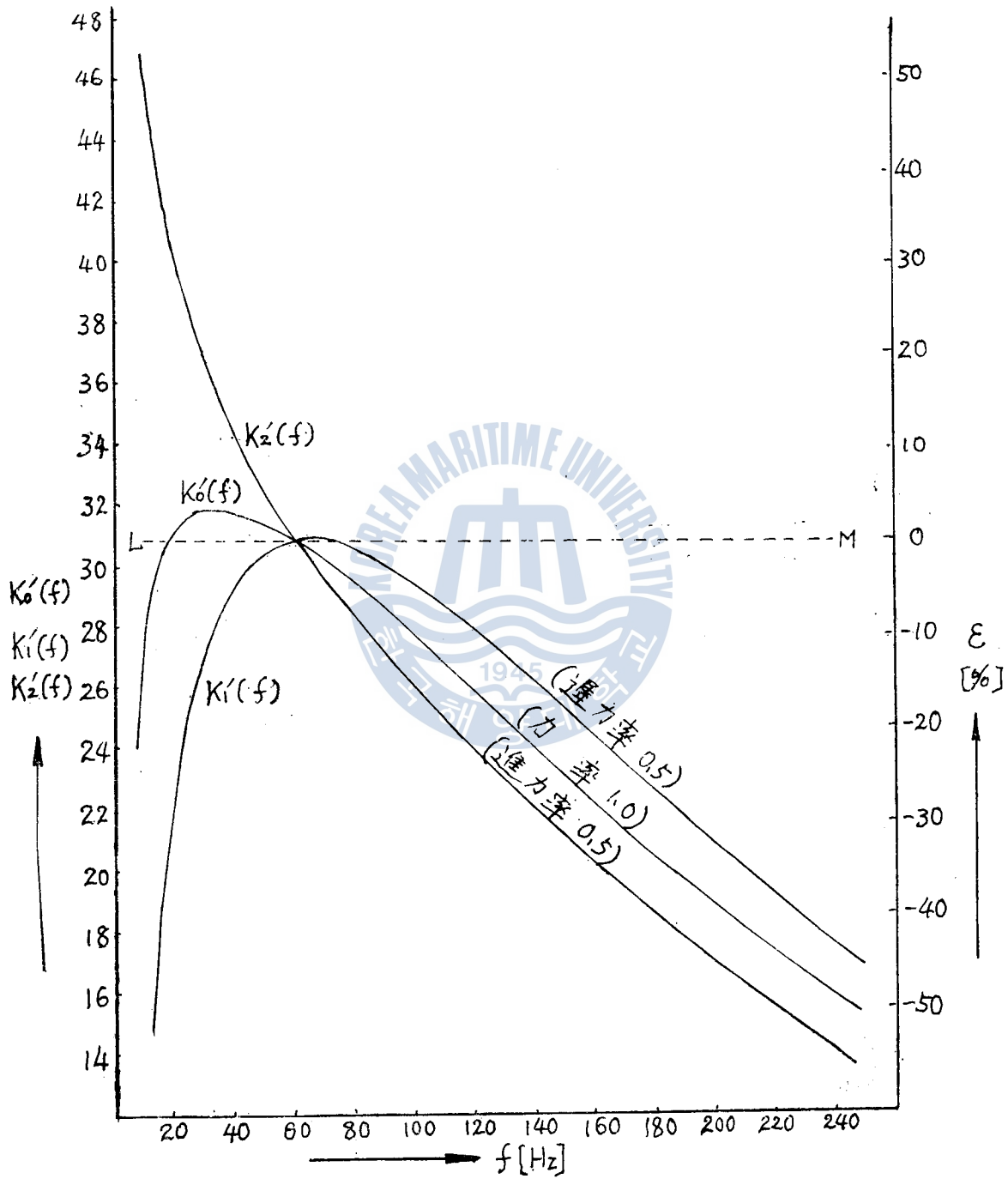


그림 2. 積算電力計의 周波數特性

<表 3>

f[Hz]	10	20	30	40	50	60	80	100	120	180	240
$K_1'(f)$	7.41	22.0	27.0	29.3	30.4	30.8	30.5	29.4	27.9	22.5	17.6
ϵ [%]	-75.9	-28.6	-12.3	-4.9	-1.3	0	-1.0	-4.5	-9.4	-26.9	-42.9

表 3에 依해서 遲力率 0.5일 때의 周波數特性을 圖表로 그리면 그림 2의 曲線 $K_1'(f)$ 와 같이 된다

3.3 進力率 0.5일 때의 周波數特性

3.2에서 記述한 바와 같이 任意 力率에 對한 周波數特性은 (14)式

$$K'(f) = K_0'(f)(1 + \tan\phi \cdot \tan\delta)$$

를 생각하면 되는데 進力率 0.5일 때는 $\phi = -60^\circ$ 이므로 $\tan\phi = -1.732$ 로 된다. 따라서 이 때의 $K'(f)$ 의 값을 $K_2'(f)$ 로 하면

$$K_2'(f) = K_0'(f)(1 - 1.732\tan\delta) \dots \dots \dots (16)$$

表 1과 表 2를 利用해서 各周波數에 對한 $K_2'(f)$ 의 값을 (16)式에 依해서 求하고 $f=60$ [Hz]時의 $K_2'(f)$ 의 값을 基準으로 한 誤差 ϵ 를 求하면 다음 表 4와 같이 된다. 表 4에 依해서 進力率 0.5일 때의 周波數特性을 圖表로 그리면 그림 2의 曲線 $K_2'(f)$ 와 같이 된다.

<表 4>

f[Hz]	10	20	30	40	50	60	80	100	120	180	240
$K_2'(f)$	46.4	40.4	36.6	34.1	32.2	30.8	28.3	26.0	23.9	18.5	14.0
ϵ [%]	50.6	31.2	18.8	10.7	4.5	0	-8.1	-15.6	-22.4	-39.9	-54.5

4. 實驗裝置 및 實驗方法

4.1 實驗裝置

捲線型誘導電動機의 2次를 開放하고 一次에 60[Hz]의 適當한 勵磁電壓을 供給하여 發生되는 廻轉磁界와 反對方向으로 直流電動機에 의해서 捲線型誘導電動機를 0~1800[rpm](同期速度)으로 驅動하면 2次端子間에서 60~120[Hz]의 交流電壓을 얻을 수 있다. 이와 같이 해서 얻은 電力을 負荷 抵抗에 供給하여 積算電力計의 誤差試驗을 하였으며, 이에 사용된 電力機器 및 各種 測定計器의 結線圖는 그림 3과 같으며 그 主要 定格은 아래와 같다.

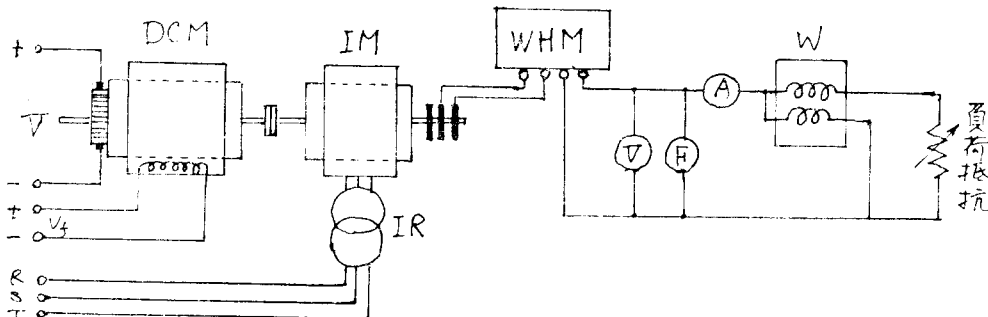


그림 3. 實驗裝置結線圖

① 捲線型 誘導電動機

Out put 2.2[KW], Volts 220[V], Amperes 8.6[A], Pole 4, Cycle 60[Hz], RPM 1720
Secondary Volts 260[V], Secondary Amperes 5.2[A], ASAHI ELEC. MFG. Co.

② 積算電力計

普通電力量計 1976年製 單相二線式 110[V], 20(10)[A], 60[Hz], 1200[Rev/kWh]

③ 周波數計

Cycle 20~90[Hz], Volts 120[V], SCHEWECTADY N. Y. USA

④ 交流電力計

Watts 750/1500/3000, Max. Volts 150/300, Cycle 15~125, max. Amps 7.5/15
Resistance 18630/37296, GENERAL ELECTRIC CO.

4.2 實驗方法

그림 3과 같이 結線된 實驗裝置에 있어서 捲線型誘導電動機의 一次에 供給하는 勵磁電壓은 誘導電壓調整器에 依해서 98~78.5[V]로 調整하고 直流電動機에 의해서 誘導電動機의 廻轉磁界의 廻轉方向과 反對方向으로 300, 600, 900, 1200, 1500, 1800[rpm]의 速度로 誘導電動機를 廻轉시키면 誘導電動機의 二次에 70, 80, 90, 100, 110, 120[Hz]의 三相 電壓이 發生한다. 이때 二次電壓은 勵磁電壓을 調整하여 100[V]로 維持하고 이 各種 周波數의 電壓을 積算電力計와 電力計를 거쳐서 負荷抵抗에 供給하고 積算電力計의 誤差試驗을 하였다. 60[Hz]에 對한 試驗은 直接 電源電壓을 利用하였다.

이 試驗에 있어서 負荷로서 純抵抗을 使用했기 때문에 周波數變化에 따른 電流와 電力의 變化는 없었으며 負荷抵抗을 調整하여 電流 4.5[A], 電力 450[W]로 되게 하였다. 이와 같은 負荷狀態에 있어서 積算電力計가 10廻轉하는데 要하는 時間을 測定하여 電力計의 指示電力으로부터 計算한 消費電力量과 積算電力計의 廻轉數에 의해서 計算한 指示電力量과를 比較하여 積算電力計의 誤差를 求하였다.

5. 實驗結果 및 檢討

直流電動機의 廻轉數를 N [rpm], 誘導電動機의 一次 勵磁電壓 및 電流를 各各 V_1 [V], I_1 [A], 二次出力電壓, 周波數, 電流, 電力을 各各 V_2 [V], f [Hz], I_2 [A], P_2 [W]로하고 負荷電力 P_2 를 供給한 時間을 T [sec], 積算電力計의 廻轉數를 R [Rev]이라고 하면 供給電力量 W_2 [Wh] 및 積算電力計의 指示電力量 W_0 [Wh]는 다음과 같이 된다.

$$W_2 = \frac{P_2 T}{3600} [\text{Wh}], \quad W_0 = \frac{1000 R}{1200} [\text{Wh}]$$

따라서 算積電力計의 指示誤差 ε [%]는 다음과 같이 된다.

$$\varepsilon = \frac{W_0 - W_2}{W_2} \times 100 [\%]$$

本 實驗에서 얻은 上記의 各 測定值 및 計算値는 表 5와 같으며 周波數 f 에 對한 誤差 ε 의 曲線을 그리면 그림 4와 같이 된다.

本 實驗結果인 그림 4의 誤差曲線을 檢討하여 보면 大略 60~65[Hz]의 경우에는 積算電力計의 指示誤差는 1.1[%]以下로 되고 65[Hz]以上의 境遇에는 周波數가 커질수록 指示誤差는 (-)로서 그 값이 急激히 커지며 120[Hz]時에는 約 -16[%]를 나타냄을 알 수 있다. 이 實驗結果는 理論式으로부터 誘導한 그림 2의 $K_0'(f)$ 曲線과 잘 一致함을 알 수 있다.

<表 5>

直 流 電 動 機 廻轉數 $N[\text{rpm}]$	勵磁入力		二 次 出 力					積算電力計			
	電 壓 $V_1[\text{V}]$	電 流 $I_1[\text{A}]$	電 壓 $V_2[\text{V}]$	電 流 $I_2[\text{A}]$	周波數 $f[\text{Hz}]$	電 力 $P_2[\text{W}]$	時 間 $T[\text{Sec}]$	電力量 $W_2[\text{Wh}]$	廻轉數 $R[\text{Rev}]$	電力量 $W_0[\text{Wh}]$	誤 差 $\epsilon[\%]$
0			100	4.5	60	450	65.9	8.24	10	8.33	1.1
300	98	5.18	100	4.5	70	450	68.2	8.52	10	8.33	-2.2
600	89	5.10	100	4.5	80	450	70.0	8.75	10	8.33	-4.8
900	85	5.10	100	4.5	90	450	71.2	8.90	10	8.33	-6.4
1200	81	5.05	100	4.5	100	450	74.5	9.31	10	8.33	-10.5
1500	79	5.05	100	4.5	110	450	76.3	9.54	10	8.33	-12.7
1800	78.5	5.00	100	4.5	120	450	79.1	9.89	10	8.33	-15.8

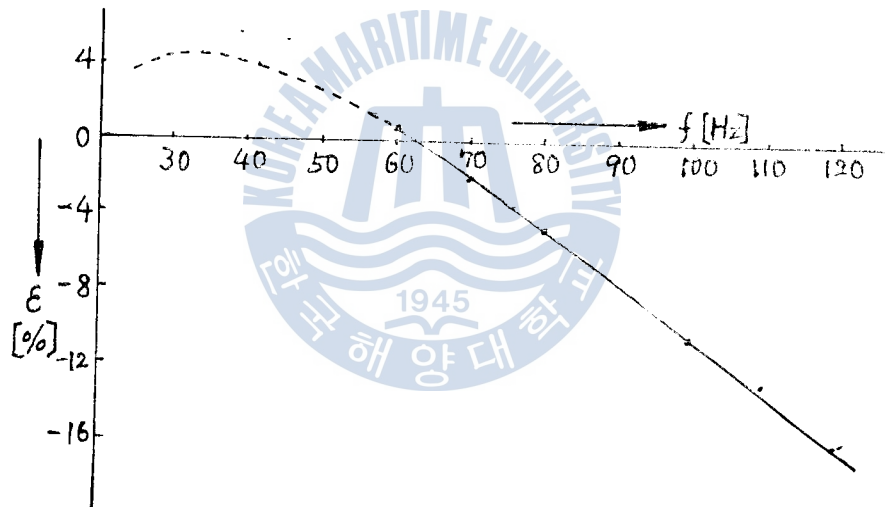


그림 4. 誤差曲線

6. 結 論

理論的으로 誘導한 誘導型 積算電力計의 周波數特性 및 實驗結果를 그림 2, 4에 依해서 檢討한 結果 誘導型積算電力計는 供給電壓의 周波數 變化에 依해서 크게 誤差가 생기는데 그 誤差는 負荷力率에 依해서도 달라지며 그 概要는 다음과 같다.

① 負荷力率이 1.0일 때, 大略 60~15[Hz]의 周波數帶에 있어서는 4[%]以下の (+)誤差를 나타내며 그 變動은 작은데 約 15[Hz]以下로 되면 誤差는 (-)로 되고 그 絶대값이 急激이 커지며 10 [Hz]에 있어서 約 -13[%]로 된다.

② 負荷力率이 1.0일 때, 周波數가 60[Hz]에서 增加하면 誤差는 (-)로 되고 그 絶대값이 直線的으로 增加하며 120[Hz]에서 約 -16[%], 240[Hz]에서 約 -49[%]로 된다.

③ 遲力率 0.5일 때, 周波數가 60[Hz]에서 減少하면 誤差는 (-)로 되고 그 絶대값은 처음에는

緩慢히 增加하여 50[Hz]에 있어서 約 $-1.3[\%]$ 로 되나 周波數가 50[Hz]에서 더 減少하게 되면 誤差의 絶對값은 急激히 增大하여 30[Hz]에 있어서 約 $-12[\%]$ 로 되고 10[Hz]時에는 約 $-76[\%]$ 로 된다.

④ 遲力率 0.5일 때, 周波數가 60[Hz]에서 增加하면 70[Hz]까지는 $+0.5[\%]$ 이하의 작은 誤差로서 그 變動이 작은데 周波數가 70[Hz]에서 더 增加할 때는 誤差는 (-)로 되고 그 絶對값은 처음에는 緩慢히 增加하여 80[Hz]時에 約 $-1.0[\%]$ 로 되고 80[Hz]에서 더 增加하면 誤差의 絶對값은 直線으로 增加하여 120[Hz]時에 約 $-9[\%]$, 240[Hz]時에 約 $-43[\%]$ 로 된다.

⑤ 進力率 0.5일 때, 周波數가 60[Hz]에서 增加하면 誤差는 (-)로서 그 絶對값은 急激히 增加하여 周波數가 120[Hz]時에 約 $-22[\%]$ 로 되고 $f=240[\text{Hz}]$ 時에 約 $-55[\%]$ 로 된다.

⑥ 進力率 0.5일 때, 周波數가 60[Hz]에서 減少하면 誤差는 (+)로서 그 絶對값은 急激히 增加하여 $f=30[\text{Hz}]$ 時 約 $19[\%]$ 로 되고 $f=10[\text{Hz}]$ 時 約 $51[\%]$ 로 된다.

⑦ 以上과 같은 誤差의 趨勢로 보아 周波數가 240[Hz]以上으로 增加해가면 어떠한 負荷力率에 있어서도 積算電力計의 誤差는 (-)로서 그 絶對값은 大端히 커질 것이다.

⑧ 以上과 같은 積算電力計의 周波數特性으로 因하여 SCR 또는 TRIAC 등으로 制御된 電力量을 誘導型積算電力計로 計測할 때에는 그 電力中에 包含되어 있는 많은 高調波電力때문에 計器誤差는 (-)로서 그 絶對값은 相當히 커질 것이다.

參 考 文 獻

- 1) 李成復 外二名 : SCR에 依하여 制御되는 電力量에 對한 積算電力計의 指示誤差에 關한 研究.
韓國海洋大學 論文集 第12輯 1977年 3月
- 2) 內藤外 一名 : 電氣計測, 朝倉書店, 東京, 1969. 3 pp. 172~178.
- 3) 飯田省 外一名 : 積算電力計理論と取扱, 電氣書院, 東京. 1962. 8. pp. 30~33.