

SCR에 의하여 制御되는 電力量에 對한 積算電力計의 指示誤差에 關한 研究

李成馥·河注植·盧彰注

A Study on the Error of Watt-Hour Meter Measuring the Energy of Power Controlled by SCR

Sung-Bok Lee, Joo-Shik Ha, Chang-Joo Noh,

<目 次>

- | | |
|------------------|--------------|
| 1. 序 論 | 3.2 實驗方法 |
| 2. 理 論 | 4. 實驗結果 및 檢討 |
| 2.1 토막正弦波電流의 電力式 | 4.1 實驗結果 |
| 2.2 積算電力計의 廻轉力 | 4.2 檢 討 |
| 3. 實驗裝置 및 實驗方法 | 5. 結 論 |
| 3.1 實驗裝置 | |

Abstract

Power conversion- and power control system using SCR are used very often recently, and the current wave form becomes chopped sinewave in this case.

In this paper, the authors have ascertained theoretically and experimentally whether the indicated value of watt-hour meter is correct or not when the energy of this chopped power is measured.

In the experiment, the authors have seeked the error of watt-hour meter measuring the consumed energy when water in a small tank was heated by electrical power controlled by SCR, and have found that if we make standard the error of watt-hour meter measuring the energy of sine wave power, the results are as follows.

(1) When the trigger angle α of SCR is smaller than about 90° , the error, being (+), is less than 2%.

(2) When the trigger angel α is larger than about 90° , the error, being (-), becomes larger abruptly and when α is 130° , the error is about -12%.

I. 序 論

SCR는 1957年 美國의 R. A. York氏에 依하여 發明된 후 최근에 와서 갑자기 活用度가 높아지

고 電力系統을 비롯하여 電氣·電子의 많은 應用分野에 利用되고 있다. 이에 따라 應用回路, 高調波抑制方案 等은 많이 研究된바 있으나 現在 使用되고 있는 誘導形積算電力計로써 SCR에 의하여 制御된 토막正弦波電力量을 計測할 때에 指示値가 正弦波電力量을 計測할 때와 같이 正確할 것인 지(3% 以下는 許容) 그 與否에 對해서는 아직 研究된 바가 없다.

本研究에서는 SCR 整流裝置에 있어서 點弧角 α 를 調整하여 制御된 電力을 水槽加熱裝置(純抵抗負荷)에 供給하는데 있어서 點弧角 α 가 $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 135^\circ$ 일 때의 積算電力計 指示誤差를 求하고 이 實驗에서 取한 電壓, 電流, 電力과 같은 電壓, 같은 電流, 같은 電力의 正弦波電力을 같은 水槽加熱裝置에 供給했을 때의 積算電力計 指示誤差를 求하였다. 그리하여 正弦波電力量 計測時의 積算電力計 指示誤差를 基準으로 하고 點弧角을 30° 에서 135° 까지 調整할 때 토막正弦波電力量 計測時의 誤差가 어떻게 變하는가를 檢討하였다.

I. 理 論

2.1 토막正弦波電流의 電力式

$R[\Omega]$ 인 純抵抗回路에 $e = E_m \sin \omega t$ 의 電壓을 걸었을 때 $i = (E_m/R) \sin \omega t$ 의 電流가 흐를 것이다. 그러나 SCR의 整流裝置를 利用하여 點弧角을 制御하여 角 α° 에서 導通할 경우 電流 및 電壓式은 다음과 같이 展開할 수 있다.

$$i = \frac{E_m}{R} \left[a_1 \cos \omega t + a_3 \cos 3\omega t + a_5 \cos 5\omega t + \dots \right. \\ \left. + b_1 \sin \omega t + b_3 \sin 3\omega t + b_5 \sin 5\omega t + \dots \right] \dots \dots \dots (1)$$

$$e = iR \dots \dots \dots (2)$$

$$a_1 = \frac{-1}{2\pi} (\cos 2\alpha - 1) \dots \dots \dots (3)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{n-1} - \frac{1}{n+1} + \frac{1}{n+1} \cos(n+1)\alpha - \frac{1}{n-1} \cos(n-1)\alpha \right] \dots \dots (4)$$

$$b_1 = \frac{1}{2\pi} (2\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha) \dots \dots \dots (5)$$

$$b_{n+1} = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{n+1} \sin(n+1)\alpha - \frac{1}{n-1} \sin(n-1)\alpha \right] \dots \dots \dots (6)$$

단, $n = 3, 5, 7, \dots$

따라서 電力式은

$$P_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e i d\theta = \frac{E_m^2}{2R} \left(1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right) = P_1 + P_3 + P_5 + \dots \dots \dots (7)$$

여기서 P_n 은 第 n 高調波電力으로서 다음과 같이 計算된다.

$$P_n = \frac{E_m^2}{2R} (a_n^2 + b_n^2), \quad n = 1, 3, 5, \dots \dots \dots (8)$$

式(8)로 부터 P_1, P_3 , 을 具體的으로 計算해 보면 式(9), (10)과 같이 된다.

$$P_1 = \frac{E_m^2}{2R} (a_1^2 + b_1^2)$$

$$= \frac{E_m^2}{8\pi^2 R} \left[(1 - \cos 2\alpha)^2 + (2\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha)^2 \right] \dots\dots\dots(9)$$

$$P_3 = \frac{E_m^2}{2R} (a_3^2 + b_3^2)$$

$$= \frac{E_m^2}{16\pi^2 R} (3 + \cos 4\alpha - 4\cos 2\alpha) \dots\dots\dots(10)$$

2.2 積算電力計의 廻轉力

一般的으로 積算電力計의 平均廻轉力은

$$T = k\omega \frac{\Phi_p \Phi_c}{Z} \sin\beta \cos\theta, \dots\dots\dots(11)$$

k ; 比例常數, β ; Φ_p 와 Φ_c 의 位相差角,
 Z ; 圓판內의 回路의 等價 임피던스, θ ; 圓판內의 回路의 等價力率角

으로 表示된다. $Z = \sqrt{R_a^2 + X_a^2}$ 으로 보코 ω 의 變化에 對한 影響을 考察하기 위하여 式(11)을 고치면

$$T = k\Phi_p \Phi_c \sin\beta \frac{R_a}{\frac{R_a^2}{\omega} + \omega L_a^2} \dots\dots(12)$$

로 된다.

式(12)에서 Φ_p, Φ_c 가 一定하다고 가정하면 ω 의 變化에 대하여 極點을 가지고 있으며 $\omega = R_a/L_a$ 에서 最大廻轉力을 發生하고 이 값보다 ω 가 커지면 廻轉力은 減少되어 간다. 그러나 實際에 있어서는 ω 가 增加하면 Φ_p 도 減少하므로 60[Hz] 以上에서는 ω 가 增加할 때 廻轉力은 一般的으로 減少한다.

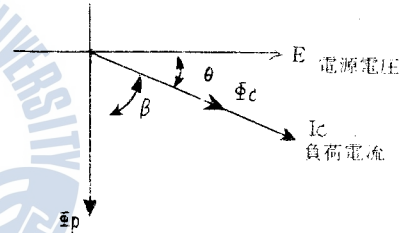


그림 1 積算電力計의 페이지어線圖

Ⅲ. 實驗裝置 및 實驗方法

3.1 實驗裝置

SCR 2個와 다이오우드 2個를 사용한 混合브리지에 의해서 單相全波整流를 하고 負荷裝置로 是 100[V], 500[W] 히이터 2個를 사용한 加熱水槽를 만들어 그림 2와 같이 結線하여 實驗을 하였으며 이에 使用한 積算電力計와 電力計의 定格은 다음과 같다.

積算電力計; 형식승인 224, 보통電力計, 1976年製 型 FG-17, 單相 2線式, 110[V], 20(10) [A], 60[Hz], 1200[Rev/KWH], 金星株式會社 No. 1242920

電力計; 750/1500/3000[W], 150/300[V], 7.5/15[A], 25~125[Hz], 18449/36903[Q], GE No. 3671762

3.2 實驗方法

[1] 實驗(1); SCR에 의한 電力變換裝置, 負荷로서의 加熱水槽, 計測用 電力計, 積算電力計

등을 그림 2와 같이 結線하고 SCR의 點弧角을 30° , 45° , 60° , 75° , 90° , 105° , 120° , 135° 의 7段으로 調整하여 電力을 制御하였을 때 各 境遇에 있어서의 入力(V_1, I_1, P_1), 使用時間(T), 積算電力計의 廻轉數(N), 出力(V_2, P_2), 加熱水槽의 물의 溫度上昇(t)을 測定하여 消費電力量(W_1 및 W_2)과 積算電力計의 指示電力量(W_1')을 求하고 積算電力計의 誤差를 求하였다.

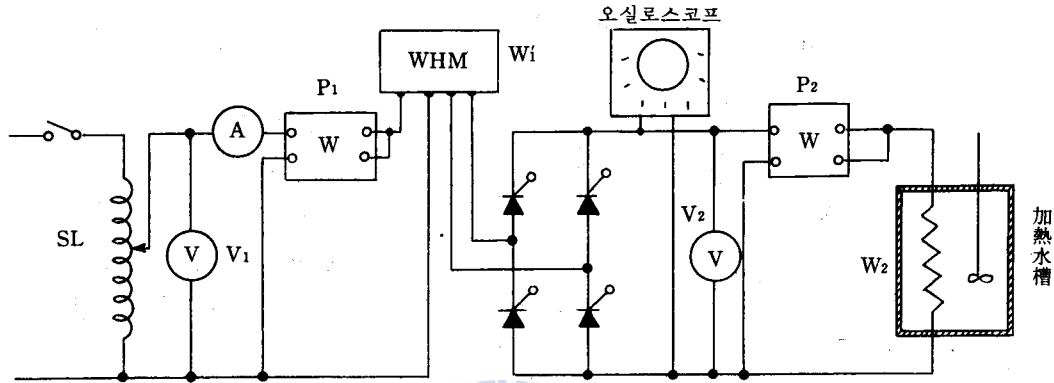


그림 2. 實驗裝置結線圖(I)

[2] 實驗(2); 實驗(1)의 裝置에서 電力變換裝置를 除外하고 正弦波電力을 加熱水槽에 供給하는데 있어서 入力電力 P_1 을 實驗(1)에 있어서의 入力電力과 같이 되도록 슬라이드 SL_0 에 의하여 調整하여 消費電力量(W_1 및 W_2)을 求하였다. 이 때의 積算電力計 指示電力量은 같은 消費電力量에 對해서도 入力電壓, 電流, 力率 等에 의해서 약간 달라질 수 있을 것이므로 다음에 記載하는 實驗(3)의 結果를 利用하여 入力電壓, 電流, 電力을 實驗(1)에 있어서의 값과 같게 하였을 때의 값으로 較正한 後 이 값을 使用하여 積算電力計의 誤差를 求하고 이 誤差와 SCR에 의한 制御電力量 計測時의 誤差를 比較 檢討하였다.

[3] 實驗(3); 그림 3와 같은 實驗裝置를 使用하여 SL_0 에 의해서 V_1 을, SL_1 에 의해서 I_1 을, SL_2 에 의해서 P_1 을 調整하여 V_1, I_1, P_1 을 實驗(1)에 있어서의 값과 같게 하고 이때의 消費電力量에 대한 積算電力計 指示電力量의 比를 比例係數 K 로 하였으며 이것을 實驗(2)에 있어서의 消費電力量 W_1 에 관한 값을 正弦波電力量 計測時의 消費電力量 W_1 에 대한 積算電力計의 指示電力量 W_1' 로 하였다.

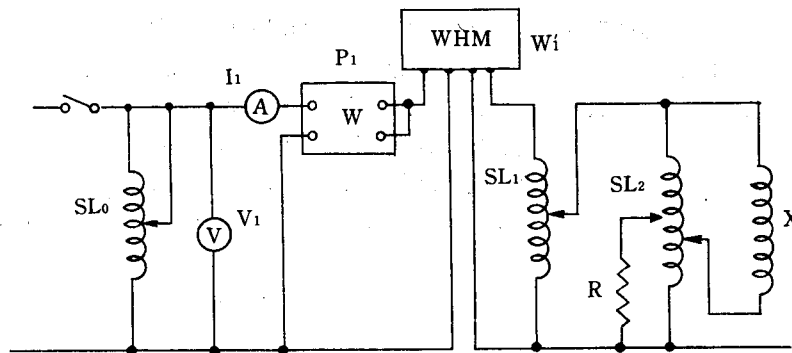


그림 3. 實驗裝置結線圖(II)

IV. 實驗結果 및 檢討

4.1 實驗結果

實驗(1)에서 SCR에 의한制御電力量計測實驗結果는 表 1과 같다. 이 表에서 入力電力量 W_1 은 入力電力 P_1 과 時間 T 에 의해서 計算한 電力量이고 消費電力量 W_0 는 加熱水槽의 加熱量 W_2 에 SCR의 損失電力量 W_1 을 合하여 求한 것이고 積算電力計의 誤差 ϵ 는 積算電力計의 指示電力量 W_1' 의 W_1 에 대한 誤差計算值이고 ϵ_0 는 W_1' 의 W_0 에 對한 誤差計算值이다.

表 1. SCR에 의한制御電力量計測實驗結果

點弧角 α°	入 力				積 算 出 力		加 熱 水 槽			SCR	消 費	WHM 誤差		
	電壓 V_1 [V]	電流 I_1 [A]	電力 P_1 [W]	時間 T [sec]	電力量 W_1 [WH]	指示量 W_1' [WH]	電力 P_2 [W]	水量 M [gr]	溫度 上昇 t [°C]	加熱量 W_2 [WH]	損失 電力量 W_1 [WH]	電力量 W_0 [WH]	ϵ [%]	ϵ_0 [%]
30	100	8.60	820	143.6	32.71	33.33	798	5,000	5.02	29.19	0.88	30.07	+1.9	+10.8
45	101	8.50	800	147.0	32.67	33.33	778	5,000	5.02	29.19	0.90	30.09	+2.0	+10.8
60	100	8.10	720	122.4	24.48	25.00	698	4,000	4.70	21.86	0.75	22.61	+2.1	+10.6
75	101	7.45	600	146.8	24.47	25.00	579	4,000	4.70	21.86	0.86	22.72	+2.2	+10.0
90	102	6.75	490	120.6	16.42	16.67	470	3,000	4.15	14.48	0.67	15.15	+1.5	+10.0
105	99	5.75	350	170.6	16.59	16.67	330.5	3,000	4.15	14.48	0.92	15.40	+0.5	+8.2
120	101	4.90	250	121.6	8.44	8.33	230.5	2,000	3.20	7.44	0.66	8.10	-1.3	+2.8
135	101	3.85	150	206.0	8.58	8.33	133.0	2,000	3.30	7.67	0.97	8.64	-2.9	-3.6

$$W_1 = \frac{P_1 T}{3600} \text{ [WH]}, \quad W_1' = \frac{1000N}{1200} \text{ [WH]}, \quad W_2 = \frac{MT}{860} \text{ [WH]}$$

$$W_1 = \frac{(P_1 - P_2)T}{3600} \text{ [WH]}, \quad W_0 = W_2 + W_1 \text{ [WH]}, \quad \epsilon = \frac{W_1' - W_1}{W_1} \times 100 \text{ [%]}, \quad \epsilon_0 = \frac{W_1' - W_0}{W_0} \times 100 \text{ [%]}$$

實驗(2) 및 (3)에서의 正弦波電力量計測實驗結果는 表 2와 같다. 이 表에서 V_1, I_1, P_1 은 實驗(3)에 있어서의 값이며 이 값은 實驗(1)에 있어서의 入力値와 같게 한 것이다. P, T, W_1, M, t, W_2 는 實驗(2)에 있어서의 測定值 및 計算值이며 積算電力計의 指示電力量 W_1' 는 入力電力量 W_1 에 比例係數 K 를 곱하여 求한 것이다. 이와 같이 求한 W_1' 의 W_1 및 W_2 에 대한 誤差를 各各 ϵ 및 ϵ_0 로 하였다.

表 1 및 表 2의 ϵ_0 와 ϵ 를 曲線으로 그리면 그림 4와 같이 된다. 正弦波電力量計測時의 誤差 ϵ 은 曲線④와 같이 +1[%] 以下인데 誤差 ϵ_0 는 曲線 ②와 같이 約+10[%]로 되었다는 것은 實驗①에서 消費電力量 W_0 를 計測時 이것이 적게 計測되었기 때문이라 볼 수 있다. 따라서 그림 4(a)에 있어서의 誤差 ϵ_0 는 曲線 ①, ② 모두 實際誤差보다 約 8~9[%] 크게 나타나 있다고 볼 수 있다. 그러므로 그림 4(a)에 있어서 正弦波電力量計測時의 誤差 ϵ_0 (曲線②)를 基準으로 잡으면 SCR에 依해서 制御된 電力量計測時의 誤差 ϵ_0 는 曲線①와 같이 $\alpha < 90^\circ$ 일 때에는 +2~0[%]로 되고 $\alpha > 90^\circ$ 일 때는 (-)로서 그 값은 갑자기 커지며 $\alpha = 130^\circ$ 附近에 있어서는 約 -12[%]로 됨을 알 수 있다. 그림 4(b)에 있어서의 誤差 ϵ 에 對해서도 그림 4(a)와 類

似한 傾向이 있음을 알 수 있다.

表 2. 正弦波電力量計測實驗結果

點弧角 α [°]	入 力					積算電力量計		加 熱 水 槽			WHM誤差	
	電壓 V_1 [V]	電流 I_1 [A]	電力 P_1 [W]	時間 T [sec]	電力量 W_1 [WH]	比 例 係 數 K	指示量 W_1' [WH]	水 量 M [gr]	溫度上昇 t [°C]	加熱量 W_2 [WH]	ϵ [%]	ϵ_0 [%]
30	(105)	8.60	820	144.2	32.85	33.33 32.98	33.20	5,000	5.25	30.52	+1.1	+8.8
45	(104)	8.50	800	148.0	32.89	33.33 33.02	33.20	5,000	5.23	30.41	+0.9	+9.2
60	100	8.10	720	123.4	24.68	25.00 24.80	24.88	4,000	4.90	22.79	+0.8	+9.2
75	101	7.45	600	148.0	24.67	25.00 24.85	24.82	4,000	4.87	22.65	+0.6	+9.6
90	102	6.75	490	120.5	16.40	16.67 16.61	16.46	3,000	4.30	15.00	+0.4	+9.7
105	99	5.75	350	170.0	16.53	16.67 16.68	16.52	3,000	4.31	15.03	-0.1	+9.9
120	101	4.90	250	120.0	8.33	8.33 8.38	8.28	2,000	3.24	7.53	-0.6	+10.0
135	101	3.85	150	200.0	8.33	8.33 8.38	8.28	2,000	3.27	7.60	-0.6	+8.9

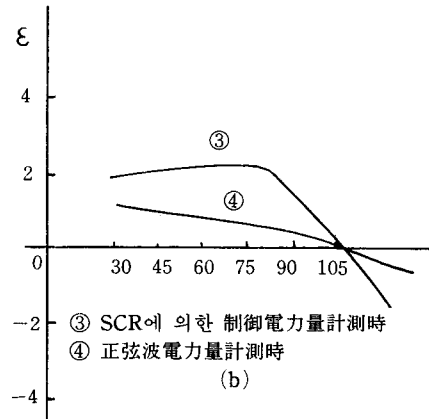
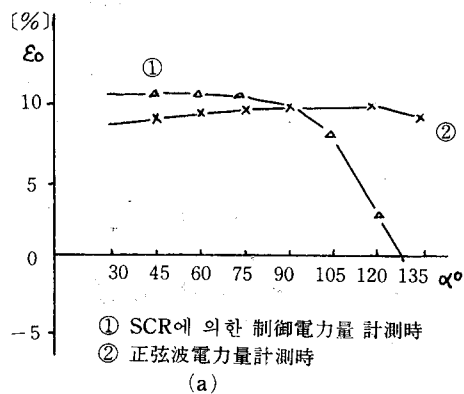


그림 4 誤差曲線

4.2 檢 討

2.2節에서 檢討한 처음 誘導型積算電力計의 廻轉力은 ω 가 增加할 때 ($>60\text{Hz}$) 一般的으로 減少하게 된다. 따라서 式(7)로서 表示되는 理論的인 電力 P 중에 包含되는 基本波電力 P_1 은 그 대로 積算電力計에 指示되나 P_3, P_5, \dots 등 高調波電力에 對해서는 積算電力計가 實際의 電力量보다 적게 指示하게 된다. 第5高調波(300Hz 에 該當) 以上の 電力은 거의 積算電力計에 指示되지 않는다고 볼 수 있으므로 이를 無視하고 여기서는 點弧角 α 의 增加와 더불어 P_1+P_3 의 P_0 에 對한 比 및 P_3 의 P_1 에 對한 比가 어떻게 變化하는가를 檢討해 보기로 한다. 즉 σ_1 및 γ 를 式(13), (14)과 같이 定義하고 이들 값을 式(8), (9), (10)으로 부터 計算하여 圖示하면 그림5 및 그림 6과 같이 된다.

$$\sigma_1 = \frac{P_1 + P_3 - P_0}{P_0} \times 100[\%] \dots\dots\dots(13)$$

$$\gamma = 20 \log \frac{P_3}{P_1} [\text{dB}] \dots\dots\dots(14)$$

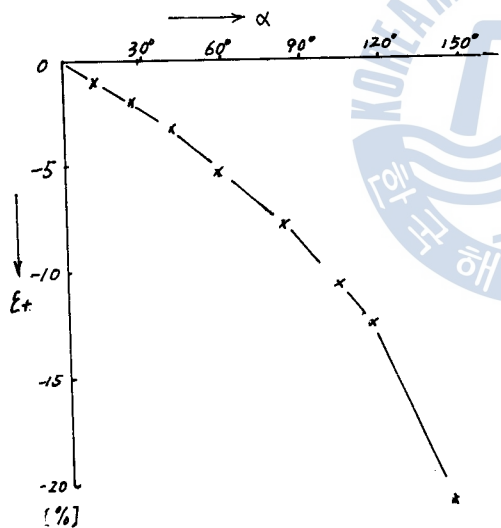


그림 5 第1高調波電力(p_1) + 第3高調波電力(p_3)의 理論 電力(p)에 對한 比

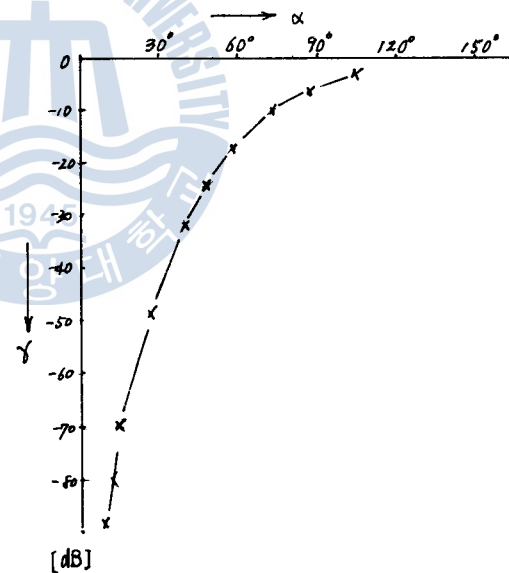


그림 6 第3高調波電力(p_3)의 基本 波電力(p_1)에 對한 比

그림 5와 그림 4를 比較할 때 α 의 큰 값에 對해서 σ_1 가 ϵ_0 또는 ϵ 보다 적게 나타나고 있다. 이는 σ_1 의 計算에서 第3高調波電力까지만을 考慮한 것에 起因되는 것으로 생각된다. 즉 實際로는 第5高調波 以上の 電力도 多少나마 積算電力計에 指示되고 있다는 것이다. 高調波電力에 對해서 積算電力計가 具體的으로 어느 程度 指示하는가는 다음 機會에 다시 檢討해 보기로 한다.

그림 6은 高調波電力의 基本波電力에 對한 比가 α 의 증가와 더불어 현저하게 커짐을 나타내고 있다. 즉 P_3 의 P_1 에 對한 比의 값은 $\alpha=10^\circ$ 에서 0.92×10^{-4} 인 것이 $\alpha=135^\circ$ 에서는 0.745로 되어 約 8000배나 되고 있음을 알 수 있다.

V. 結 論

以上에서 考察한 바에 의해서 토막正弦波電力量에 對한 積算電力計의 指示値는 點弧角의 大小에 따라 誤差를 隨伴함을 알았다. 이 誤差는 α 가 적을 때는 別로 問題되지 않으나 α 가 110° 이상으로 커지면 誤差가 許容限界를 넘어서 커지며 $\alpha=130^\circ$ 附近에서 $-12[\%]$ 에 달한다.

實驗値를 보면 전반적으로 誤差가 +방향으로 기우러져 있다. 이것은 4.1節에서 言及한 바와 같이 本實驗裝置에 있어서 생기고 있는 系統的誤差로 보아지며 α 角變化에 따른 誤差의 推移를 考察하는데는 問題될 것이 없는 것으로 보아진다.

本研究에서는 負荷로서 純抵抗만을 考慮했으나 電動機와 같은 誘導性負荷에 對한 積算電力計의 指示誤差와, 高調波電力量에 對해서 一般積算電力計으로써 어느 程度誤差가 있는가에 對해서는 앞으로 더욱 研究되어야 할 것이다.

參 考 文 獻

- 1) 內藤正 外 一名: 電氣計測, 朝倉書店, 東京, 1969. 3, pp. 175~170.
- 2) 飯田省三 外 一名: 積算電力計理論と取扱, 電氣書院, 東京, 1962, 8, pp. 30~35.
- 3) 高田勇次郎: 誘導機, オーム社, 東京, 1953. 7, pp. 33~45.
- 4) 宮入庄太: 파워エレクトロニクス, 丸善, 東京, 1973, pp. 51~58.
- 5) A. F. Puchstein, T. C. Lloyd, A. G. Conard: Alternating current machines, John Wiley & Sons New York, 1970, pp. 264~265.
- 6) Weed and Davis: Fundamentals of. Electron Devices and Circuits, Prentice Hall, New York, 1962, pp. 406~432.