

# TRIAC에 依해서 制御된 電力의 分析 및 그 電力量計測時의 誤差에 關한 研究

李 成 馥

A Study on the Analysis of Power Controlled by TRIAC and the Error of the Measurement of Its Energy

Sungbok Lee

<目 次>

- |                          |                     |
|--------------------------|---------------------|
| 1. 序 論                   | 4. 誘導型積算電力計의 諸特性    |
| 2. TRIAC에 依해서 制御된 電力의 分析 | 5. 誘導型積算電力計의 誤差實驗方法 |
| 3. 誘導型積算電力計의 廻轉速度式       | 6. 實驗結果 및 檢討        |
|                          | 7. 結 論              |

Abstract

Nowadays, TRIAC is used very often for AC power control and when we measure the energy of electric power controlled by TRIAC, some measuring errors will be caused in the quantity indicated on watt-hour meter because of higher harmonics. So in this paper the author analyzed the controlled power into the various higher harmonics and induced the speed equation of watt-hour meter, investigating the characteristics of induction type watt-hour meter therewith. And the author found out that the large minus error will be caused in the measured energy of electric power of higher harmonics when the energy is measured by induction type watt-hour meter.

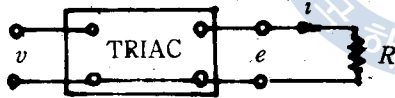
And the fact that considerable minus error is caused in the measured energy of power controlled by TRIAC when trigger angle  $\alpha$  is large is confirmed by the examination of induction type watt-hour meter error test. The results of error test are as follows; where  $\epsilon$  is the error when the energy of power controlled by TRIAC is measured by watt-hour meter,  $\epsilon'$  is the error when the energy of power not controlled is measured by watt-hour meter and  $\epsilon_0 = \epsilon - \epsilon'$  is the error of energy measured by watt-hour meter due to the higher harmonic power only.

error \ $\alpha$	$\pi/8$ [rad]	$2\pi/8$ [rad]	$3\pi/8$ [rad]	$4\pi/8$ [rad]	$5\pi/8$ [rad]	$6\pi/8$ [rad]	$7\pi/8$ [rad]
$\epsilon$ [%]	0.15	0.65	-0.10	-0.89	-2.91	-6.89	-4.76
$\epsilon'$ [%]	0.60	1.16	0.65	0.55	0.30	-0.30	6.95
$\epsilon_0$ [%]	-0.45	-0.51	-0.75	-1.44	-3.21	-6.59	-11.71

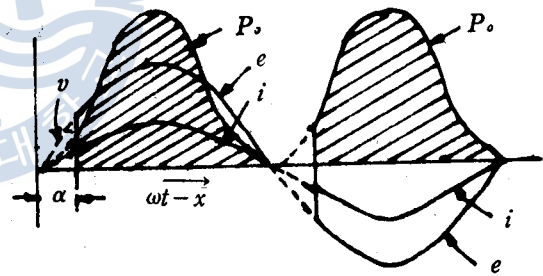
## 1. 序 論

近來에 TRIAC 등이 電力制御에 많이 使用되고 있는데 이런 境遇에 있어서 使用電力量을 積算電力計에 依해서 計測하면 制御電力中에 包含되어 있는 高調波電力 때문에 計測된 電力量에 誤差가 생길 것이다. 그러므로 이것을 究明하기 爲하여 먼저 交流電力을 TRIAC에 依해서 制御할 때 그 中에 包含되어 있는 各高調波電力이 TRIAC의 位相制御角에 따라서 어떻게 變化하며 또 各高調波電力의 全電力에 對한 比率은 어느 程度로 되는지를 分析하고 다음에 誘導型積算電力計의 廻轉速度式을 誘導하여 이 速度式에 依해서 積算電力計의 諸特性에 對하여 考察하였으며 特히 高調波電力과 같이 周波數가 大端히 높을 때에는 使用電力量을 誘導型積算電力計에 依해서 計測할 때 相當히 큰 負誤差가 생긴다는 것을 究明하였다. 그리고 積算電力計에 依해서 TRIAC에 依한 制御電力量을 計測할 때의 誤差試驗과 또 이 試驗時의 電流와 等價인 正弦波電流가 같은 電壓下에서 通하고 있을 때 積算電力計에 依한 電力量計測時의 誤差試驗을 함으로써 TRIAC에 依한 電力制御를 할 때에는 그 中에 包含되어 있는 高調波로 因해서 使用電力量計測時에 相當한 負誤差가 생긴다는 것을 確認하였다

## 2. TRIAC에 依해서 制御된 電力의 分析



第1圖 交流電力制御回路



第2圖 制御電力波形

第1圖와 같이 抵抗負荷 R에 供給되는 交流電力을 TRIAC에 依해서 制御하고 있을 때 電源電壓을

$$v = V_m \sin \omega t = \sqrt{2} V \sin x \dots\dots\dots ①$$

로 하고 TRIAC의 位相制御角을  $\alpha$ 로 하면 出力電壓  $e=f(x)$ 는 第2圖와 같이 橫軸에 關해서 上下가 對稱으로 되므로  $e=f(x)$ 를 Fourier 級數에 依해서 展開하면 奇數高調波단을 包含하게 된다.

$$\text{即} \quad e = \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(nx + \phi_n) \dots\dots\dots ②$$

但,  $n$ 은 奇數이고

$$\left. \begin{aligned} a_n &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} e \cos nxdx = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V \int_{\alpha}^{\pi} \sin x \cos nxdx \\ b_n &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} e \sin nxdx = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V \int_{\alpha}^{\pi} \sin x \sin nxdx \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots ③$$

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}, \quad \phi_n = \tan^{-1} \frac{a_n}{b_n}$$

負荷電流  $i$  및 消費電力  $p_0$  는

$$i = \frac{e}{R} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{R} \sin(nx + \phi_n) \dots\dots\dots ④$$

$$p_0 = ei \dots\dots\dots ⑤$$

로 되고 그 波形은 第2圖와 같이 되며 消費電力의 平均値  $P_0$  는 다음과 같이 된다.

$$P_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} e i dx = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \frac{V^2}{R} \sin^2 x dx = \frac{V^2}{R} \left( 1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right) \dots\dots\dots ⑥$$

이 때 出力電壓  $e$  의 實効値  $E$  및 電源側에서 볼 때의 等價力率  $\cos \phi$  는 다음과 같이 된다.

$$E = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (\sqrt{2} V \sin x)^2 dx} = V \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

$$\cos \phi = \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

位相制御角  $\alpha$  에 對한 等價力率은 第1表와 같이 된다.

第1表 位相制御角  $\alpha$  에 對한 等價力率

$\alpha$ [rad]	0	$\pi/8$	$2\pi/8$	$3\pi/8$	$4\pi/8$	$5\pi/8$	$6\pi/8$	$7\pi/8$	$\pi$
$\cos \phi$ [%]	100	99.4	95.3	85.9	70.7	51.2	30.1	11.2	0

出力電壓  $e$  中에 包含되어 있는 第  $n$  高調波電壓  $e_n$  및 負荷電流  $i$  中에 包含되어 있는 第  $n$  高調波電流  $i_n$  은 ②, ④式에 依해서 다음과 같이 된다.

$$e_n = A_n \sin(nx + \phi_n)$$

$$i_n = \frac{A_n}{R} \sin(nx + \phi_n)$$

故로 負荷電力中에 包含되어 있는 第  $n$  高調波電力의 平均値  $P_n$  은 다음과 같이 된다.

$$P_n = \frac{A_n}{\sqrt{2}} \cdot \frac{A_n}{\sqrt{2} R} = \frac{A_n^2}{2R} = \frac{1}{2R} (a_n^2 + b_n^2) \dots\dots\dots ⑦$$

③式에 依해서  $a_n, b_n$  을 計算하여 ⑦式에 代入하면 各高調波電力을 求할 수 있다.

③式에 있어서  $n=1$  일 때에는

$$a_1 = \frac{\sqrt{2}}{2\pi} V (\cos 2\alpha - 1)$$

$$b_1 = \frac{\sqrt{2}}{2\pi} V (2\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha)$$

$n$  이 3 以上の 奇數일 때에는

$$a_n = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V \left\{ \frac{2}{(n-1)(n+1)} - \frac{1}{n-1} \cos(n-1)\alpha + \frac{1}{n+1} \cos(n+1)\alpha \right\} \dots\dots\dots ⑧$$

$$b_n = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V \left\{ \frac{1}{n+1} \sin(n+1)\alpha - \frac{1}{n-1} \sin(n-1)\alpha \right\} \dots\dots\dots ⑨$$

以上과 같이 求한 係數  $a_n, b_n$  을 高調波別로 計算하여 ⑦式에 代入하고 便宜上  $V=100$  [V],  $R=100$

[Q]으로 하면 全電力  $P_0$  및 各高調波電力  $P_1, P_3, P_5, \dots$ 은 다음과 같이 된다.

$$P_0 = 100 \left( 1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right)$$

$$P_1 = \frac{100}{4\pi^2} \{ (\cos 2\alpha - 1)^2 + (2\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha)^2 \}$$

$$P_3 = \frac{100}{8\pi^2} (3 - 4 \cos 2\alpha + \cos 4\alpha)$$

$$P_5 = \frac{100}{72\pi^2} (7 - 6 \cos 2\alpha - 3 \cos 4\alpha + 2 \cos 6\alpha)$$

$$P_7 = \frac{100}{288\pi^2} (13 - 12 \cos 2\alpha - 4 \cos 6\alpha + 3 \cos 8\alpha)$$

$$P_9 = \frac{1}{8\pi^2} (21 - 20 \cos 2\alpha - 5 \cos 8\alpha + 4 \cos 10\alpha)$$

$$P_{11} = \frac{1}{18\pi^2} (31 - 30 \cos 2\alpha - 6 \cos 10\alpha + 5 \cos 12\alpha)$$

$$P_{13} = \frac{100}{3528\pi^2} (43 - 42 \cos 2\alpha - 7 \cos 12\alpha + 6 \cos 14\alpha)$$

.....

各高調波電力의 全電力에 對한 百分率을 各各

$$K_1 = \frac{P_1}{P_0} \times 100 [\%]$$

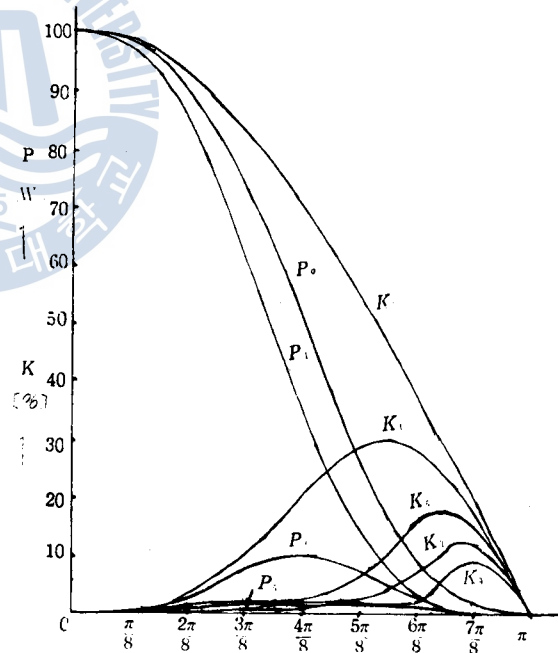
$$K_3 = \frac{P_3}{P_0} \times 100 [\%]$$

$$K_5 = \frac{P_5}{P_0} \times 100 [\%]$$

.....

$$K_{13} = \frac{P_{13}}{P_0} \times 100 [\%]$$

로 하면 TRIAC의 位相制御角  $\alpha$ 가  $0, \pi/8, 2\pi/8, \dots, \pi$ [rad]의 값을 取할 때 全電力과 各高調波電力 및 이 高調波電力의 全電力에 對한 百分率은 第2表와 같이 되고 이것을 圖表로 그리면 第3圖와 같이 된다.



第3圖 位相制御角에 對한 各高調波電力의 分布狀態

第2表 位相制御角에 對한 各高調波電力의 分布

$P_n, K_n$	$\alpha$	0	$\pi/8$	$2\pi/8$	$3\pi/8$	$4\pi/8$	$5\pi/8$	$6\pi/8$	$7\pi/8$	
$P_0$		100	98.8	90.9	73.8	50.0	26.2	9.08	1.25	0
$P_1$		100	97.7	85.2	61.8	35.1	14.3	3.36	0.233	0
$P_2$		0	0.217	2.53	7.38	10.13	7.38	2.53	0.217	0
$P_3$		0	0.189	1.41	1.78	1.13	1.78	1.41	0.189	0
$P_4$		0	0.153	0.563	0.551	1.13	0.551	0.563	0.153	0
$P_5$		0	0.114	0.203	0.544	0.405	0.544	0.203	0.114	0
$P_{11}$		0	0.079	0.146	0.270	0.405	0.270	0.146	0.079	0
$P_{12}$		0	0.050	0.144	0.197	0.207	0.197	0.144	0.050	0
$K_1$		100	98.89	93.73	83.74	70.20	54.58	37.00	18.64	0
$K_2$		0	0.220	2.78	10.00	20.26	28.17	27.86	17.36	0
$K_3$		0	0.191	1.55	2.41	2.26	6.79	15.53	15.12	0
$K_4$		0	0.155	0.619	0.747	2.26	2.10	6.20	12.24	0
$K_5$		0	0.115	0.223	0.737	0.810	2.08	2.24	9.12	0
$K_{11}$		0	0.080	0.161	0.366	0.810	1.03	1.61	6.32	0
$K_{12}$		0	0.051	0.158	0.267	0.414	0.752	1.59	4.03	0

3. 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 驅動力  $T_d$ 는 다음 式으로 表示된다.

$$T_d = K_1 \frac{\omega \Phi_p \Phi_c}{Z_d} \sin \theta \cos \alpha$$

但,  $K_1$  : 比例常數

$\omega$  : 角周波數

$\Phi_p$  : 電壓線輪에 依한 磁束

$\Phi_c$  : 電流線輪에 依한 磁束

$Z_d$  : 廻轉圓板內의 渦流回路의 等價임피던스

$\theta$  :  $\Phi_p$  와  $\Phi_c$  와의 相差角

$\alpha$  : 廻轉圓板內의 渦流回路의 等價力率角

誘導型積算電力計의 廻轉圓板에 作用하는 制御廻轉力  $T_c$ 는 다음 式으로 表示된다.

$$T_c = K_2 n (\Phi_m^2 + \Phi_p^2 + 2\Phi_c^2)$$

但,  $K_2$  : 比例常數

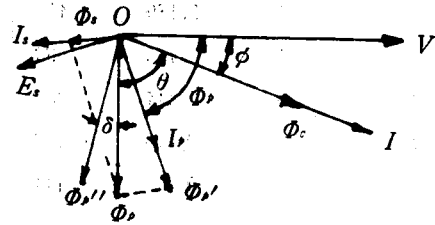
$n$  : 廻轉圓板의 廻轉速度

$\Phi_m$  : 制御用永久磁石에 의한 磁束

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.

$$n = \frac{K_1 \frac{\omega \Phi_p \Phi_c}{Z_d} \sin \theta \cos \alpha}{K_2 (\Phi_m^2 + \Phi_p^2 + 2\Phi_c^2)} \quad \text{⑩}$$

그런데  $\Phi_p$  는 第4圖와 같이 電壓線輪의 電流  $I_p$  에 의한 磁束  $\Phi_p'$  와 位相調整用短絡線輪에 의한 磁束  $\Phi_p$  와의 벡터 합으로서 供給電壓의 周波數  $f$  가 60[Hz]時에  $\Phi_p$  가 供給電壓  $V$  보다 位相이  $90^\circ$  뒤지도록 調整되어 있는데 이 位相調整이 過했거나 또는  $f$  가 60[Hz]보다 커졌을 때에는  $\Phi_p$  와  $V$  와의 角이  $90^\circ$ 보다 커지므로 그 增加分을  $\delta$ 로 하면 負荷力率角이  $\phi$ 일 때  $\theta$  및  $\sin \theta$  는 다음과 같이 된다.



第4圖 積算電力計의 Phasor圖

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

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

그리고  $\Phi_p$  는 供給電壓  $V$  에 比例하고 電壓線輪의 임피던스  $Z_p = \sqrt{R_p^2 + X_p^2}$  에 反比例하며  $\Phi_c$  는 負荷電流  $I$  에 比例하므로  $\Phi_p \Phi_c = K_3 VI / Z_p$  로 된다. 但,  $R_p$  와  $X_p$  는 各各 電壓線輪의 抵抗과 리액턴스를 表示한다. 그리고 廻轉圓板의 渦流回路의 等價抵抗 및 等價리액턴스를 各各  $R_d, X_d$  로 하면

$$\cos \alpha = \frac{R_d}{Z_d} = \frac{R_d}{\sqrt{R_d^2 + X_d^2}}$$

로 되므로 式 ⑩은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} n &= \frac{K_1 K_3 R_d}{K_2 (\Phi_m^2 + \Phi_p^2 + 2\Phi_c^2)} \cdot \frac{\omega \cos \delta (1 + \tan \phi \tan \delta)}{Z_p Z_d^2} VI \cos \phi \\ &= \frac{K_1 K_3 R_d}{K_2 (\Phi_m^2 + \Phi_p^2 + 2\Phi_c^2)} \cdot \frac{\cos \delta (1 + \tan \phi \tan \delta)}{\sqrt{R_p^2 + (2\pi f L_p)^2} \left( \frac{R_d^2}{2\pi f} + 2\pi f L_d^2 \right)} VI \cos \phi \\ &= K_0 VI \cos \phi \quad \text{⑪} \end{aligned}$$

$$\text{但, } K_0 = \frac{K_1 K_3 R_d}{K_2 (\Phi_m^2 + \Phi_p^2 + 2\Phi_c^2)} \cdot \frac{\cos \delta (1 + \tan \phi \tan \delta)}{\sqrt{R_p^2 + (2\pi f L_p)^2} \left( \frac{R_d^2}{2\pi f} + 2\pi f L_d^2 \right)} \quad \text{⑫}$$

#### 4. 誘導型積算電力計의 諸特性

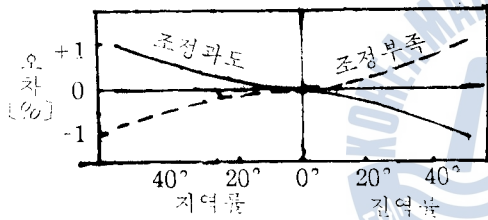
式 ⑪에 있어서  $K_0$  가 一定이면 積算電力計의 廻轉圓板의 廻轉速度는 負荷電力  $VI \cos \phi$  에 比例하게 되므로 어느 期間中の 廻轉圓板의 廻轉數에 依해서 그 期間中の 消費電力量을 正確하게 알 수 있다. 그런데  $K_0$  는 負荷電流, 電壓, 負荷力率, 周波數 等に 依해서 多少 變化하게 되므로 積算電力計는 若干의 誤差가 生길 것이며 그 特性에 對해서는 ⑫式에 依해서 檢討할 수 있다.

(1) 負荷特性 : 負荷電流가 增加하면  $\Phi_c$  가 커지므로  $K_0$  는 작아진다. 그러므로 全負荷時의 誤差를

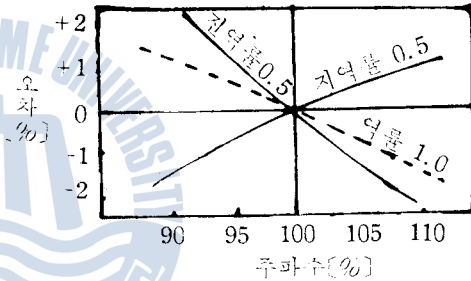
중으로 하면 過負荷狀態에 있어서는 負誤差가 생기고 全負荷보다 작은 負荷에 있어서는 正誤差가 생긴다. 그리고 積算電力計의 廻轉軸과 베어링部分에는 摩擽力이 생기는데 輕負荷時에는 驅動廻轉力이 작아서 摩擽力이 크게 作用하게 되므로 負誤差가 생긴다.

(2) 電壓特性: 電壓이 커지면  $\phi_0$ 가 커지므로  $K_0$ 는 작아진다. 따라서 定格電壓일 때의 誤差를 零으로 하면 電壓이 클 때 負誤差가 생기고 電壓이 낮을 때 正誤差가 생기게 된다.

(3) 力率特性: 位相調整이 過했을 때에는  $\delta$ 가 (+), 位相調整이 不足했을 때에는  $\delta$ 가 (-)로 되고 遲力率일 때에는  $\phi$ 가 (+), 進力率일 때에는  $\phi$ 가 (-)로 된다. 그러므로 力率이 100[%]일 때의 誤差를 零으로 하면 位相調整이 過했을 때 ( $\delta > 0$ )에는 遲力率( $\phi > 0$ )로서 力率이 낮아질수록 ( $\phi$ 는 커짐)  $K_0$ 는 커지므로 積算電力計는 正誤差가 생기고 進力率( $\phi < 0$ )로 力率이 낮아질수록  $K_0$ 는 작아지므로 積算電力計는 負誤差가 생긴다. 位相調整이 不足했을 때 ( $\delta < 0$ )에는 遲力率( $\phi > 0$ )로서 力率이 낮아질수록  $K_0$ 는 작아지므로 積算電力計는 負誤差가 생기고 進力率( $\phi < 0$ )로서 力率이 낮아질수록  $K_0$ 는 커지므로 積算電力計는 正誤差가 생긴다. 따라서 力率特性은 第5圖와 같이 된다.



第5圖 負荷力率에 對한 特性



第6圖 周波數特性

(4) 周波數特性: ㉔式에 있어서  $K_0$ 의 分母는 定格周波數附近에 있어서  $f$ 가 커질수록 커진다고 볼 수 있다. 그리고  $\delta$ 도  $f$ 에 따라서 變化하므로  $K_0$ 의 分子도  $f$ 에 따라서 變化하는데 그 變化狀態는 負荷力率에 따라서 다르게 된다는 것을 알 수 있다. 即 力率이 1.0일 때에는  $\phi=0$ , 따라서  $\tan \phi = 0$ 으로 되므로  $K_0$ 의 分子는  $f$ 가 定格值보다 커질 때 작아지므로 負誤差가 생기고  $f$ 가 定格值보다 작아질 때에는 分子도 작아지지만 分母가 작아지는 率이 甚하므로  $K_0$ 는 커지고 正誤差가 생기게 된다. 遲力率 0.5일 때 ( $\phi > 0$ )에는  $f$ 가 定格值보다 커질 때 ( $\delta > 0$ ) 分子가 分母보다 더 커지기 때문에 正誤差가 생기고  $f$ 가 定格值보다 작아지면 ( $\delta < 0$ ) 分子는 작아지는데 그 程度가 分母의 작아지는 程度보다도 甚하므로 負誤差가 생긴다. 進力率 0.5일 때 ( $\phi < 0$ )에는  $f$ 가 定格值보다 커질 때 ( $\delta > 0$ )  $K_0$ 의 分子는 작아지므로 負誤差가 생기고  $f$ 가 定格值보다 작아질 때 ( $\delta < 0$ ) 分子는 커지므로 正誤差가 생긴다. 그러므로 定格周波數前後에 있어서의 周波數特性은 第6圖와 같이 된다.

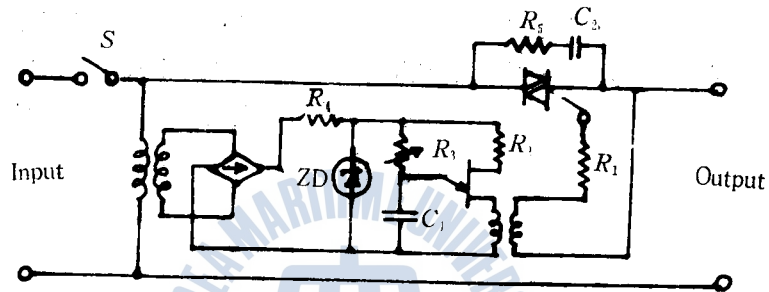
以上 記述한 바와 같이 積算電力計는 負荷電流, 電壓, 負荷力率, 周波數 等に 依해서 若干의 誤差가 생기나 이 誤差는 重負荷補償裝置, 輕負荷補償裝置, 電壓特性補償裝置 等を 함으로서 大端히 작게 되므로 普通의 使用狀態에 있어서는 別支障이 없으나 TRIAC 等に 依해서 電力制御할 때에는 많은 高調波가 包含되므로 그와 같이 周波數가 높은 高調波電力이 包含되어 있는 電力量을 積算電力計에 依해서 計測할 때에는 周波數  $f$ 가 大端히 크게 되므로 ㉔式에서 檢討해 보면 負荷力率에 關

係없이 相當한 負誤差가 生길 것이다. 그러므로 이와 같은 電力量을 計測할 때 어느 程度의 誤差가 生길 것인지를 다음에 實驗에 依해서 求하여 보기로 한다.

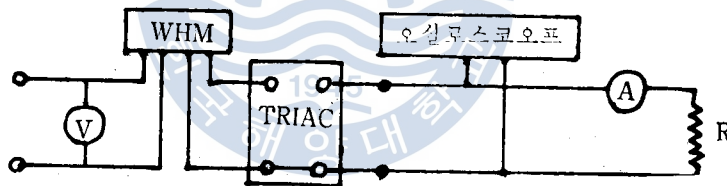
### 5. 誘導型積算電力計의 誤差實驗方法

#### 5-1 實驗 1. TRIAC에 依해서 制御된 電力量計測時의 積算電力計誤差測定

本實驗에서 使用한 被試驗用積算電力計는 大韓電線株式會社製인 普通電力計 1-18E型 30(10)[A], 110[V], 60[Hz], 1000[Rev/KWH], 交流單相二線式이고 本試驗에서 使用한 TRIAC 電力制御裝置의 內部回路는 第7圖와 같다.



第7圖 TRIAC 電力制御裝置의 結線圖



第8圖 制御電力量計測時의 積算電力計誤差試驗

本試驗을 하기 爲해서 誘導型積算電力計, TRIAC 電力制御裝置 등을 第8圖와 같이 連結하고 電源 電壓이 100[V]時에 TRIAC의 位相制御角  $\alpha$ 를  $\pi/8, 2\pi/8, 3\pi/8, 4\pi/8, 5\pi/8, 6\pi/8, 7\pi/8$ [rad]으로 調整하면서 各境遇에 있어서의 電力供給時間  $T$ [sec], 積算電力計의 廻轉數  $N$ 을 計測하여 消費電力量  $W$ [WH], 積算電力計의 指示電力量  $W_0$ [WH], 積算電力計의 誤差  $\epsilon$ [%]를 다음 式에 依해서 求했다.

$$W = \frac{PT}{3600} [\text{WH}], \quad W_0 = N[\text{WH}], \quad \epsilon = \frac{W_0 - W}{W} \times 100[\%]$$

TRIAC의 位相制御角은 오실로스코프에 依해서 確認하였고 消費電力  $P$ [W]는 負荷抵抗에서 消費되는 負荷電力  $P_0$ 와 TRIAC에서 生기는 損失電力  $P_i$ 과의 合으로 될 것인데 이 電力의 測定은 다음과 같이 하였다.

負荷電力  $P_0$ [W]를 測定하는 데는 電力計를 使用하지 않고 負荷電流  $I$ 와 負荷抵抗  $R$ 을 正確하게 測定하여  $P_0 = I^2 R$ 에 依해서 計算하였다. 負荷抵抗  $R$ 은 實驗中 主熱 때문에 抵抗值가 溫度에 따라

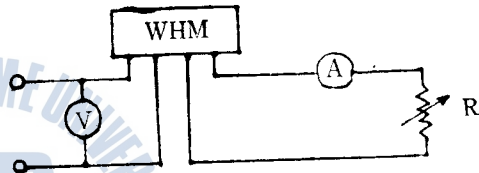


서 若干 變化하게 되므로 TRIAC의 位相制御角  $\alpha$ 를 變化시켜서 實驗할 때마다 휘이트스톤브리지에 依해서 正確하게 測定하였다.

TRIAC에서 生기는 電力損失  $P_l$ 은 位相制御角  $\alpha$ 와 負荷電流  $I$ 에 따라서 다르게 될 것이므로 TRIAC 電力制御裝置의 앞과 뒤에 電力計를 連結하고 電源電壓  $V$ , 位相制御角  $\alpha$  및 負荷電流  $I$ 를 앞에서 記述한 積算電力計의 誤差試驗(第8圖)時와 똑같이 해놓고 두 電力計의 指示電力  $P_1, P_2$ 를 測定하면 그 差  $P_1 - P_2$ 가 그때의 TRIAC 電力損失  $P_l$ 로 된다. TRIAC의 位相制御角  $\alpha$ 를  $\pi/8, 2\pi/8, 3\pi/8, 4\pi/8, 5\pi/8, 6\pi/8, 7\pi/8$ [rad]으로 調整해 놓고 各境遇에 있어서의 TRIAC 電力損失  $P_l$ 을 測定하였다.

### 5-2 實驗 2. 正弦波電力量計測時의 積算電力計誤差測定

正弦波電力量計測時의 積算電力計誤차를 求하기 爲하여 積算電力計, 負荷抵抗等을 第9圖와 같이 結線하고 電源電壓은 100[V]로 維持한다. 그리고 負荷抵抗  $R$ 을 調整하여 負荷電流를 實驗 1의 境遇와 같은 값으로 해놓고 電力供給時間  $T$ [sec]와 積算電力計廻轉圓板의 廻轉數  $N$  및 負荷抵抗  $R$ 를 測定하여 實驗 1의 境遇와 같은 要領에 依하여 實驗 1에서 다른 7가지의 負荷電流에 對한 積算電力計의 誤差  $\epsilon'$ 를 求하였다.



第9圖 正弦波電力量計測時의 誤差試驗

## 6. 實驗結果 및 檢討

實驗 1, 2에 있어서의 各測定值 및 이 測定值를 利用하여 計算한 各量은 第3表 및 第4表와 같다.

實驗 2에 있어서의 負荷電流는 實驗 1에 있어서의 負荷電流와 같게 하려고 한 것인데 負荷抵抗의 調整이 細密하게 할 수 없어서 若干의 差異가 생겼으나 試驗結果에는 別로 影響이 없으리라고 본다.

第3表 實驗 1의 測定值 및 計算值

位相制御角 $\alpha$ [rad]	電源電壓 $V$ [V]	負荷電流 $I$ [A]	負荷抵抗 $R$ [ $\Omega$ ]	負荷電力 $P_o$ [W]	TRIAC 損失電力 $P_l$ [W]	全電力 $P$ [W]	時 間 $T$ [sec]	消 費 電力量 $W$ [WH]	廻轉數 $N$ [Rev]	WHM 計測量 $W_o$ [WH]	WHM 誤 差 $\epsilon$ [%]
$\pi/8$	100	9.55	10.15	926	20	946	76.0	19.97	20	20	0.15
$2\pi/8$	100	9.12	10.16	845	20	865	82.7	19.87	20	20	0.65
$3\pi/8$	100	8.20	10.16	683	20	703	102.5	20.02	20	20	-0.10
$4\pi/8$	100	6.70	10.16	456	17	473	153.6	20.18	20	20	-0.89
$5\pi/8$	100	4.70	10.15	224	12	236	157.1	10.30	10	10	-2.91
$6\pi/8$	100	2.79	10.14	78.9	10	88.9	217.5	5.37	5	5	-6.89
$7\pi/8$	100	1.44	10.14	21.0	5	26.0	145.6	1.05	1	1	-4.76

第4表 實驗2의 測定值 및 計算值

電源電壓 V[V]	負荷電流 I[A]	負荷抵抗 R[Ω]	負荷電力 P <sub>o</sub> [W]	時間 T[sec]	消費電力量 W[WH]	廻轉數 N[Rev]	WHM 計測量 W <sub>o</sub> [WH]	WHM 誤差 ε'[%]
100	9.52	10.36	939	76.2	19.88	20	20	0.60
100	9.05	10.92	894	79.6	19.77	20	20	1.16
100	8.10	12.24	803	89.1	19.87	20	20	0.65
100	6.65	14.92	660	108.5	19.89	20	20	0.55
100	4.70	21.18	468	76.7	9.97	10	10	0.30
100	2.74	36.50	274	131.8	10.03	10	10	-0.30
100	1.45	66.54	140	96.2	3.74	4	4	6.95

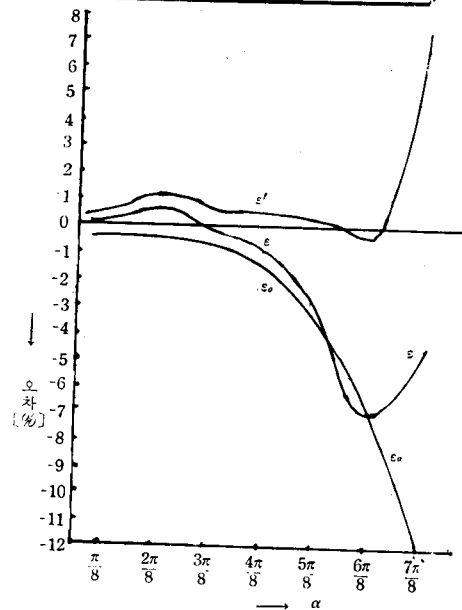
高調波電力量으로 因해서 생기는 積算電力計의 誤差는 第3表에 있어서의 誤差  $\epsilon$ 에서 第4表에 있어서의  $\epsilon'$ 를 뺀 것으로 될 것이다. 故로  $\epsilon_0 = \epsilon - \epsilon'$ 를 TRIAC의 位相制御角別로 求해 보면 第5表와 같이 된다.

第5表 高調波電力 때문에 생기는 積算電力計의 誤差

오차 $\alpha$	$\pi/8$ [rad]	$2\pi/8$ [rad]	$3\pi/8$ [rad]	$4\pi/8$ [rad]	$5\pi/8$ [rad]	$6\pi/8$ [rad]	$7\pi/8$ [rad]
$\epsilon$ [%]	0.15	0.65	-0.10	-0.89	-2.91	-6.89	-4.76
$\epsilon'$ [%]	0.60	1.16	0.65	0.55	0.30	-0.30	6.95
$\epsilon_0$ [%]	-0.45	-0.51	-0.75	-1.44	-3.21	-6.59	-11.71

第5表에 있어서  $\epsilon'$ 는 正弦波電力量計測時의 誤差이기 때문에 位相制御角  $\alpha$ 와는 關係가 없으나 第5表는 다음과 같은 意義를 갖고 있다. 即  $\alpha = \pi/8$ [rad]일 때  $\epsilon = 0.15$  [%],  $\epsilon' = 0.60$  [%],  $\epsilon_0 = -0.45$  [%]라는 것은 制御電力量計測時 位相制御角이  $\alpha = \pi/8$ [rad]일 때 積算電力計의 誤差가 0.15[%]인데 이 때의 負荷電流  $I = 9.55$ [A]와 等價인 正弦波電流가 通하고 있을 때에는 積算電力計의 誤差가 0.60[%]로 되어  $\epsilon_0 = \epsilon - \epsilon' = 0.15 - 0.69 = -0.45$  [%]의 差異가 생긴다는 것 다시 말하면 TRIAC에 依한 制御電力量計測時에는  $\alpha = \pi/8$ [rad]일 때 高調波成分 때문에 正弦波電力量計測時보다 0.45[%]가 낮게 計測된다는 것을 意味한다.

第5表를 圖表로 그리면 第10圖과 같이 되는데 第10圖에 있어서 曲線  $\epsilon'$ 와  $\epsilon$ 은  $\alpha > 6\pi/8$ [rad]일 때 갑자기 上



第10圖 積算電力計의 誤差曲線

昇하여  $\alpha = 7\pi/8[\text{rad}]$ 일 때  $\epsilon' = 6.95[\%]$ 로 大端히 큰 값을 取하게 되는데 그 理由는 輕負荷時에 있어서의 廻轉部摩擦에 對한 補償이 너무 過했기 때문이라고 본다.

## 7. 結 論

(1) 正弦波電力量計測時 大略 1[%]內외의 正誤差가 생기는 積算電力計를 使用해서 TRIAC에 依한 制御電力量을 計測할 때 생기는 積算電力計의 誤差는 位相制御角  $\alpha$ 가  $3\pi/8[\text{rad}]$  以下일 때에는 (+)로서 그 값은 0.65[%] 以下로 되는데  $\alpha$ 가  $3\pi/8[\text{rad}]$ 보다 커지면 積算電力計의 誤差는 (-)로 되어 그 絶對값은 徐徐히 增加하다가  $\alpha$ 가  $4\pi/8[\text{rad}]$ 보다 커지면 積算電力計의 誤差는 急激하게 增加하다가  $\alpha$ 가  $6\pi/8[\text{rad}]$ 을 지나면 誤差는 急激히 減少하게 된다(輕負荷時의 廻轉部摩擦補償이 過大하기 때문임).

(2) TRIAC에 依해서 制御된 電力量을 計測할 때 그 中에 包含되어 있는 高調波成分 때문에 생기는 積算電力計의 誤差는 (-)로서 그 絶對값은 位相制御角  $\alpha$ 가 클수록 커지는데  $\alpha$ 가  $\pi/2[\text{rad}]$ 에 이르기까지는 誤差는 徐徐히 커지다가  $\alpha$ 가  $\pi/2[\text{rad}]$ 을 넘으면 誤差는 急激히 커져서  $\alpha = 7\pi/8[\text{rad}]$  時에 誤差는 約  $-12[\%]$ 로 된다.

(3) 積算電力計의 誤差는  $\pm 3[\%]$ 까지는 許容되고 있으므로 上記한 積算電力計를 使用해서 制御電力量을 計測할 때 位相制御角  $\alpha$ 가  $5\pi/8[\text{rad}]$  以下일 때에는 積算電力計의 誤差는 (+) 또는 (-)로서 그 絶對값은 3[%] 以下로 되어 別問題가 없으나  $\alpha$ 가  $5\pi/8[\text{rad}]$ 보다 커질 때에는 그 誤差가 갑자기 커져서 誤差의 許容範圍를 超過하게 되므로 問題가 될 수 있다.

(4) 高調波에 正弦波電力量計測時의 誤差가  $-2[\%]$  程度되는 積算電力計를 使用했다면 TRIAC에 依해서 制御된 電力量을 計測할 때에 있어서는  $\alpha$ 가  $\pi/2[\text{rad}]$ 로 되기前에 積算電力計의 誤差는 그 許容範圍를 超過하게 됨을 알 수 있다.

(5) 式(2)에 依해서 積算電力計의 周波數特性을 생각할 때 高調波와 같이 周波數가 大端히 날 때에는 큰 負誤差가 생길 것이나 第2表에서 알 수 있는 바와 같이 高調波의 次數가 높아질수록 高調波電力量의 包含量이 작아지므로 全電力量計測時의 負誤差는 그다지 크게 되지는 않고 TRIAC의 位相制御角  $\alpha$ 가  $7\pi/8[\text{rad}]$ 일 때 誤差는  $-12[\%]$  程度로 된다는 것을 알 수 있다.

## 參 考 文 獻

- 1) 電氣學會：交流理論，電氣學會，東京，1971. 3, pp. 220—234.
- 2) 宮入正太：マイリスタ應用ハンドブック，日刊工業新聞社，東京，1975. 8, pp. 583—593.
- 3) 內藤外一：電氣計測，朝倉書店，東京，1969. 3, pp. 172—178.
- 4) 飯田外一：積算電力計，電氣書院，東京，1962. 8, pp. 3—17, 30—33.

○\* 論文은 1980年度 文教部 學術研究助成費에 의하여 研究되었음.

