

# 半導体を用いた熱型最大需用表示器

小 山 恒 夫 \*

(信州大学工学部 電気工学教室)

(1956 年 10 月 5 日 受領)

## THERMAL DEMAND METER HAVING SEMICONDUCTOR RETARDING ELEMENT

Tsuneo KOYAMA

(Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering)

(Received: October. 5. 1956)

**Synopsis** This paper deals with the principle and performance of thermal demand meters having semiconductor retarding element. The resistance of this semiconductor is very sensitive to temperature.

When the semiconductor is heated by electric power in proportion to its load current, the temperature rise of the semiconductor element is proportional to the heating power. The time constant is adjustable by controlling the volume of the semiconductor or the heating method. The compensating method for the change of atmospheric temperature is given by using 2-semiconductor or 4-semiconductor element systems for the measuring circuit.

The demand volt-ampere meter has one heating element, while the demand wattmeter has two heating elements. The characteristics of the demand meters are described on various conditions of temperature, power factor, frequency, current and voltage.

## 1 緒 言

電力の需給関係を合理的にするため、大きな役割をもつ最大需用計には、従来機械型と熱型の2種類<sup>(1)</sup>がある。これらの計器は従来指示部以外に可動部として、歯車装置またはバイメタルをもっている。これに対して本研究にかかわる需用計は、可動部としては指示部のみで、作用素子として顕著な感熱特性をもつ半導体を使用したものであり、半導体<sup>(1)</sup>がもつ熱容量に着目して需用値に比例した僅少な電力で半導体を加熱すれば、半導

---

\* 信州大学工学部教授

体は温度上昇し、それにともなつて抵抗が低下していき、ある温度に達して熱平衡するから、それまでの半導体の熱容量に基づく熱的遅れによる時限で半導体の抵抗値を測定指示させれば、いわゆる熱型最大需用表示器となる。ここに使用した半導体は、金属マ<sup>(2)</sup>ンガナイトに金属酸化物を配合して成形し、焼成した材料<sup>(8)</sup>であるが、温度特性は安定で、抵抗値並びに熱容量の値について所望のものを作ることも困難ではない。半導体は感熱特性が顕著であるから周囲温度の変化に対する補償が必要であるが、その補償方法としては半導体を2個または4個使用すれば、満足できる結果を与える。

本論文においては、最初に最大需用皮相電力計について原理、温度補償法並びに諸特性の実験結果等を述べ、次に最大需用電力計について考案試作して実験検討した研究結果を併せて述べ御批判を仰ぐ次第である。

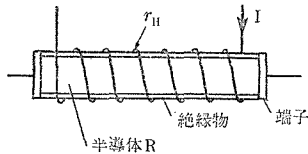
## 2 最大需用皮相電力計

この表示器は皮相電力の最大需用量を計量するもので、この計器を用いると需用電力計と積算無効電力計とをこの計器1つに置きかえられて便利である。米国では複雑な構造のものができており、日本でも関西電力で研究しているが、まだ実用になつていないようである。<sup>(4)</sup>

本研究にかかわる計器は、指示値そのものは皮相電力ではないが、後述のように電圧 $\times$ (電流)<sup>2</sup> または (電圧 $\times$ 電流)<sup>2</sup> を表示する方式に関係している。<sup>(6)</sup>

### 2.1 原 理

需用値に比例した電力で半導体を加熱すれば、半導体の熱容量に基づく熱的遅れで半



第1図 半導体とヒータ(平等巻)

導体は徐々に温度上昇して、ある温度に達して熱平衡する。この間に半導体は温度によつて抵抗が変化するから、この抵抗値を測定指示させればある応動特性をもつ最大需用計となる。即ち第1図のように半導体をヒータで加熱し、半導体の温度を $T$ としてその温度のときの半導体の抵抗値を $R$ 、周囲温度を $T_0$ としてその温度のときの抵抗値を $R_0$ とすれば

$$R = R_0 \exp(b/T - b/T_0) \quad b: \text{定数} \quad (1)$$

また半導体の熱容量を $C$ 、容積を $S \times l$ 、周囲の長さを $u$ 、熱放散係数を $k$ 、ヒータの電流及び抵抗を $I$ 、 $r_H$ 、ヒータの温度、熱容量、及び熱放散係数をそれぞれ $T_H$ 、 $C_H$ 、 $k_H$ 、ヒータと半導体との間の熱伝導度を $K_i$ とし、ヒータ及び半導体の各部の温度は夫々が近似的に均一で、 $T_H$ 及び $T$ で温度上昇し、 $T_H$ 及び $T$ 以外の上記符号は時間に対し一定とすれば、半導体の単位長さについては、ヒータと半導体間では

$$\frac{C}{l} \frac{dT}{dt} + \frac{k}{l} (T - T_0) = u K_i (T_H - T) \quad (2)$$

$$\frac{l^2 r_H}{J} = C_H \frac{dT_H}{dt} + C \frac{dT}{dt} + k_H (T_H - T_0) + k (T - T_0) \quad (3)$$

ここで

$$2H_1 = \{(C + C_H)ulK_i + Ck_H + C_HK\}/CC_H$$

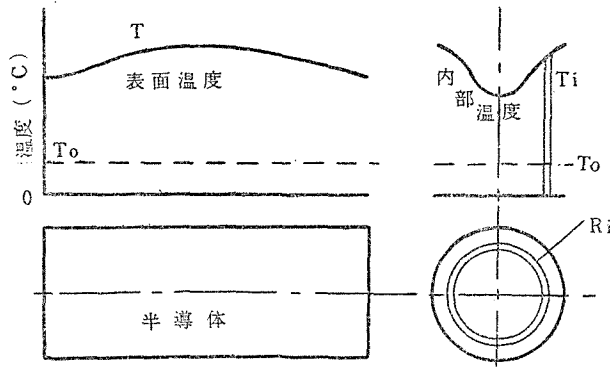
$$H_2 = \{kk_H + (k + k_H)ulK_i\}/CC_H$$

$$H_3 = H_2^2 T + ulK_i l^2 r_H / JCC_H$$

とおき、また  $H_2^2 - H_1^2 < 0$  で、 $M_H = \sqrt{H_1^2 - H_2^2}$  とおけば、 $t=0$  のとき  $T = T_H = T_0$  となり、 $t=\infty$  では  $T = H_3/H_2^2$  となる故、(2)、(3)式より  $T$  が次のように求まる。

$$T = \frac{T_0 - H_3/H_2^2}{2M_H} \{ (H_1 + M_H) \exp\{-(H_1 - M_H)t\} - (H_1 - M_H) \exp\{-(H_1 + M_H)t\} \} + H_3/H_2^2 \quad (4)$$

即ち(4)式から半導体の温度上昇が求まる。しかしこれは  $r_H$  を一定とし、また半導体の表面及び内部の温度が均一であると仮定した場合であるが、実際の場合は、たとえ  $r_H$



第2図 半導体の温度分布

を一定としても  $T$  は半導体の表面及び内部が均一ではなく、たとえば、電流を流した後のある時間では外側面が高く、中心部及び端部が低い温度分布となりこの一例を第2図に示す。抵抗  $R$  も半導体を  $n$  個の円筒に分割し  $i$  番目の抵抗を  $R_i$  とすれば、(1)式より

$$R_i = R_{i0} \exp(b/T_i - b/T_0)$$

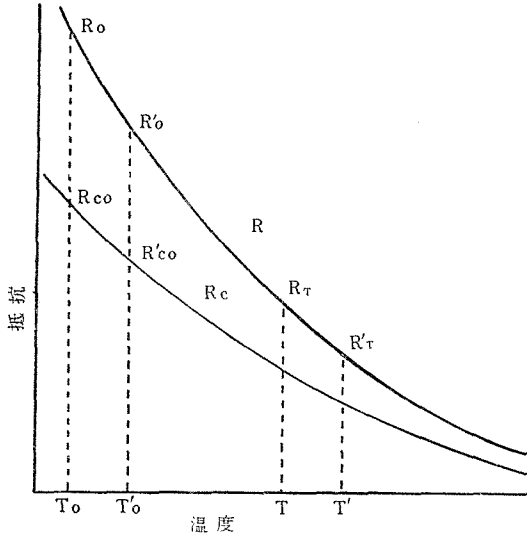
$$R = 1/\sum^n (1/R_i)$$

となるから、計算にあたってはこのことを考慮しなければならないが、複雑になるため(4)式のように近似的に求めた。この温度  $T$  と抵抗  $R$  と時間  $t$  の関係から、変化する  $R$  の値を測定指示する押し針及び止まり針をつければ、最大需用計とすることができる。測定回路としては半導体と金属抵抗を用いてホイートストブリッジに組む。

## 2.2 回路と温度補償<sup>(6)</sup>

ここに使用する半導体は抵抗温度係数が著しく大きいから、周囲温度  $T_0$  の影響をうける。従つて周囲温度の変化に対する補償を施す必要がある。

作用素子としての半導体の抵抗を  $R$ 、温度補償用半導体の抵抗を  $R_c$  とし、夫々が第3図に示す温度特性をもち、負荷（ヒータ）電流  $I$  = 一定のとき、第4図の回路で電源



第3図 半導体の温度抵抗特性

電圧を  $E_o$  (一定) とし, 簡単のため  $r_c=0$  ( $r_c$  については後述する) とおけば, 指示計の電流  $i_g$  は

$$i_g = \frac{E_o(r_1 R_c - r_2 R)}{(r_1 + r_2)\{r_g(R + R_c) + RR_c\} + r_1 r_2(R + R_c)} \quad (5)$$

今周囲温度が  $T_o$  から  $T_o'$  に上昇したとすれば, 補償用半導体の抵抗は

$$R_c = R_{co} \exp\left(\frac{b_c}{T_o'} - \frac{b_c}{T_o}\right) \quad b_c : \text{定数} \quad (6)$$

即ち第4図で周囲温度が  $T_o$  のときは,  $R_c$  は  $R_{co}$  の値で, 作用素子  $R$  は,  $R_o$  の値から  $I$  によつて近似的に(4)式で決まる温度  $T$  のときの抵抗  $R_T$  まで変化し,  $i_g$  が(5)式で定まる。周囲温度が  $T_o'$  の場合は,  $R_c$  は  $R_{co}'$  となり,  $R$  は  $R_o'$  から  $R_{T'}$  まで変化する。

さて  $T_o$  が変化しても  $I=0$  または 任意の  $I=$ 一定の値に対して  $i_g$  が  $i_g=0$  または一定であるためには,  $\theta_o = T_o' - T_o$  とすれば

$$\frac{di_g}{d\theta_o} = 0 \quad (7)$$

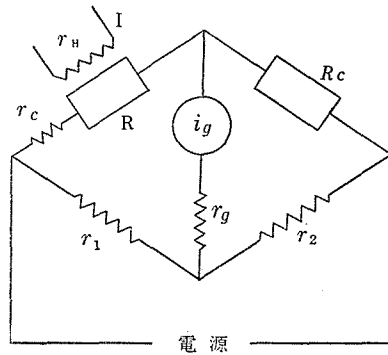
でなければならない。ここで第3図の特性曲線

を前報<sup>(5)</sup>と同様に  $0 \sim n$  区分に分割して,  $j$  番目の部分の温度係数を  $\gamma_j$ ,  $\gamma_{cj}$  とすれば, 近似的に

$$R = R_o \{1 - \gamma_j(\theta + \theta_o)\}$$

$$R_c = R_{co} \{1 - \gamma_{cj}\theta_o\}$$

ただし  $\theta = T - T_o$  または  $\theta = T' - T_o'$  とする。



第4図 2素子法回路

いま  $I=0$  のときは  $\theta=0$  となり,  $i_g=0$  の条件は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} r_1 R_{co} &= r_2 R_o \\ \gamma_j &= \gamma_{cj} \text{ または } b = b_c \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

次に  $I=\text{一定} (\neq 0)$  即ち  $\theta=\text{一定} (\neq 0)$  のときも (7) 式が成立しなければならない。ここで  $\gamma_j, \gamma_{cj}$  は  $\theta_o$  の変化に対し一定と仮定すると, 条件は

$$K_1 \theta_o^2 - K_2 \theta_o + K_3 = 0$$

となる。即ち

$$\theta_o = \frac{1}{2K_1} (K_2 \pm \sqrt{K_2^2 - 4K_1 K_3}) \quad (9)$$

ただし

$$\begin{aligned} K_1 &= 2R_{co}^2 \gamma_{cj} (\gamma_{cj} - \gamma_j) \\ K_2 &= \{ (\gamma_{cj} - \gamma_j) (\gamma_{cj} + \gamma_j - \theta \gamma_j \gamma_{cj}) - 2\gamma_{cj} (1 - \theta \gamma_j) r_2 / r_1 \} R_{co}^2 / \gamma_j \\ K_3 &= \{ R_{co} (r_2 + r_g + r_g r_2 / r_1) (\theta \gamma_{cj} - \gamma_{cj} / \gamma_j + 1) - R_{co}^2 (\theta^2 \gamma_j \gamma_{cj} \\ &\quad - \theta \gamma_j - \theta \gamma_{cj} + 2\gamma_{cj} / \gamma_j) \end{aligned}$$

即ち  $\theta_o$  が (9) 式を満足する範囲内の値であれば  $i_g$  は一定である。ここで,  $\gamma_j, \gamma_{cj}$  は  $\theta_o$  の変化範囲内ではほぼ一定であるが,  $\gamma_j$  は  $T$  の変化範囲では一般に変化する。

以上は  $r_c=0$  の場合であるが, もし (8), (9) 式を満足しない  $\gamma_j, \gamma_{cj}$  のときは,  $R$  または  $R_c$  のいずれか一方に直列に温度係数正の抵抗  $r_c$  を, たとえば第 4 図のように入れる。  $r_c$  の  $T_o$  の変化に対する温度係数を  $\alpha_j$  として, 前記同様に  $0 \sim n$  区分すれば

$$r_c = r_{co} (1 + \alpha_j \theta_o)$$

$I=0$  のとき,  $i_g=0$  となる条件は

$$\left. \begin{aligned} \alpha_j &= (\gamma_j - \gamma_{cj}) R_o / r_{co} \\ r_1 R_{co} &= r_2 (r_{co} + R_o) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

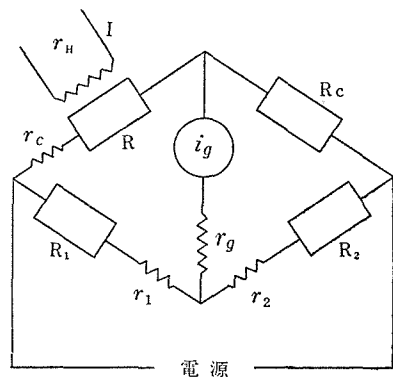
となる。  $I=\text{一定} (\neq 0)$  のときの条件は (9) 式と同様に求まるから省く。

温度補償法の他の例は第 5 図に示すように半導体を 4 素子にする方法である。これら 2 素子法または 4 素子法においては第 4, 5 図で,  $R$  と  $R_c, R_1$  と  $R_2$  が夫々温度特性が近似していることが望ましい。

### 2.3 表示値<sup>(6)</sup>

半導体の作用素子が一定電流による  $I^2 r_H (r_H = \text{一定})$  で加熱され, 十分な時間を経て温度  $T$  で安定すれば, 指示も最大値に達し安定する。  $T_o$  も一定とすれば,  $R_o, R_{co}$  も夫々一定し, (4) 式より最終安定温度は

$$\begin{aligned} T &= H_3 / H_2^2 \\ &= T_o + \frac{ul K_i I^2 r_H}{J \{ k k_H + (k + k_H) ul K_i \}} \end{aligned} \quad (11)$$



第 5 図 4 素子法回路

この  $T$  の最終値が定まればその温度の  $\gamma_j$  が定まり、従つて  $\gamma_j = \gamma_i$  (既知) とおけば、 $T_o$ ,  $I$  が一定した場合の指示計の最終安定指示値は次のようになる。

### 2.3.1 $I^2$ 表示

第4図で電源に一定電圧  $E_o$  を使用することにする。(11)式より

$$\left. \begin{aligned} T - T_o &= D_1 I^2 \\ &= \frac{ulK_i r_H}{I \{kk_H + (k + k_H)ulK_i\}} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

また

$$R = R_o(1 - \gamma_i D_1 I^2)$$

$$R_c = R_{co}$$

である故  $i_g$  は (5) 式より

$$i_g = E_o \frac{D_1 D_4 I^2}{D_2 - D_1 D_3 I^2} \quad (13)$$

ただし

$$D_2 = (R_o + R_{co})\{r_1 r_2 + r_g(r_1 + r_2)\} + R_o R_{co}(r_1 + r_2)$$

$$D_3 = \gamma_i R_o\{r_1 r_2 + (r_1 + r_2)(r_g + R_{co})\}$$

$$D_4 = \gamma_i r_2 R_o$$

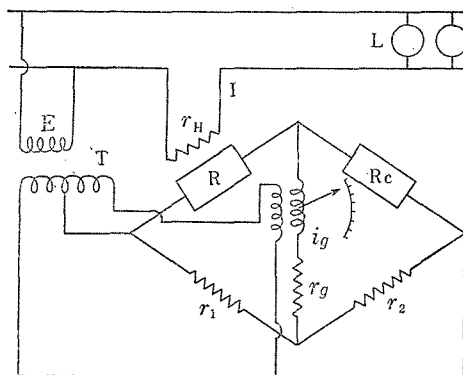
ここで  $D_1 D_3 I^2 / D_2 < 1$  のときは近似的に

$$i_g = E_o \frac{D_1 D_4}{D_2} I^2 \left\{ 1 + \frac{D_1 D_3}{D_2} I^2 + \left( \frac{D_1 D_3}{D_2} I^2 \right)^2 + \dots \right\} \quad (13)'$$

となる。即ち指示値  $i_g$  は  $I^2$  にほぼ比例する。(13)' 式で第2項以下が第1項に比し極めて小とすれば、 $i_g \propto E_o I^2$  となる。 $E_o$  = 一定の時は指示値は  $I^2$  に比例し、 $E_o$  が一定で負荷電圧に比例する電圧を使用すれば、指示値は (電圧×電流)×電流 となり、換言すれば皮相電力×電流となる。

### 2.3.2 $(EI)^2$ 表示

第6図のように指示計の界磁を電源電圧  $E$  に比例させれば、指示値  $i_p$  は、 $i_p \propto E \cdot i_g$



第6図 (電圧×電流)<sup>2</sup> 表示回路

となり、比例定数を  $q$  とすると、前項 2.3.1 と同様に

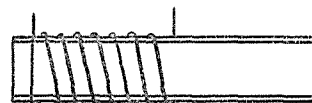
$$i_p = q(EI)^2 \frac{D_1 D_4}{D_2} \left\{ 1 + \frac{D_1 D_3}{D_2} I^2 + \left( \frac{D_1 D_3}{D_2} I^2 \right)^2 + \dots \right\} \quad (14)$$

即ち指示値は  $(E \cdot I)^2$  にほぼ比例する。換言すれば（皮相電力）<sup>2</sup> を指示することになる。

## 2.4 実験方法及び結果

作用素子並びに補償用としての半導体材料は、 $2\text{CuO} \cdot 9\text{MnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  に  $\text{CuO}$  を混和して成形焼成したもので、その大きさは  $(5 \sim 6) \times (15 \sim 20) \times (40 \sim 50) \text{mm}^3$  である。時限の調整方法としては、半導体の熱容量あるいは加熱方法を吟味する方法がある。たとえば半導体の容積または形状を加減するか、あるいはヒータの巻き方で第1図のように平等巻にする方法、第7図に例示したように集中巻として一端集中巻、両端集中巻或は中央集中巻等の加熱法がある。半導体の熱伝導に関しては温度特性に大きな影響を与えるので、充分に検討を加えて実験した。

本研究では上記の各加熱法について実験して検討を加えた。実験回路は第4、5図に夫々示す回路で電源は負荷ともに交流を使用し、電源電圧の変化は約2%以内に保ち、 $I^2$  表示の方式について実験を進めた。半導体素子  $R$ ,  $R_c$  の抵抗温度特性の例を第8図に示す。この図で実線のように  $R \simeq R_c$  の素子で構成した型をA型とし、破線のような素子を使用したものをB型とした。以下実験した結果の諸特性を述べる。



一端集中巻



両端集中巻

第7図 半導体加熱法

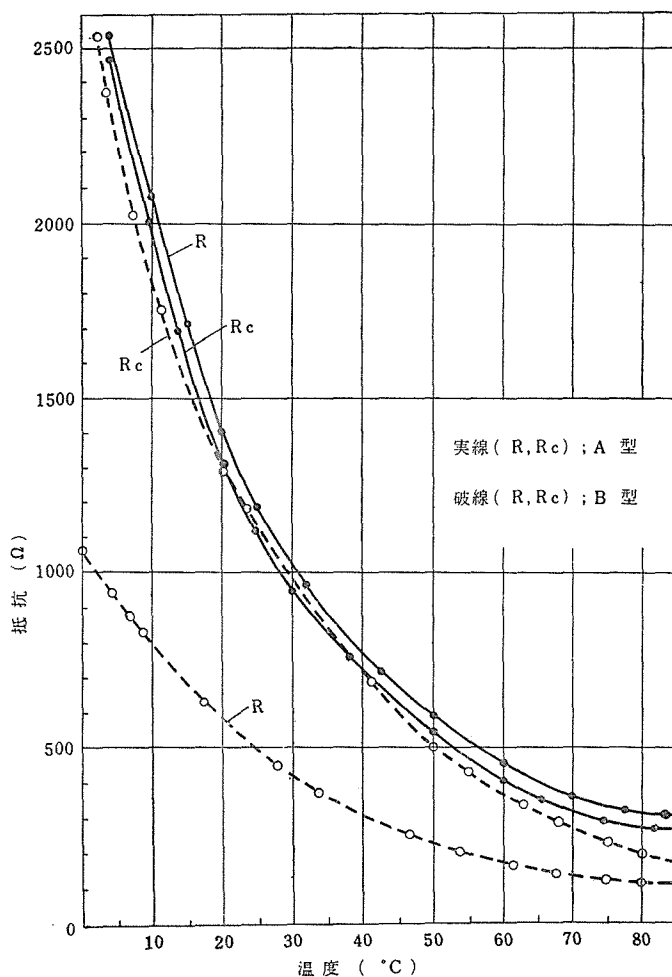
### 2.4.1 応動特性

表示値は前節で述べたが、(13)', (14) 式で第1項のみを考えると  $D_4 D_1 I^2 / D_2$  に比例しているから、(12) 及び (14) 式より指示計の応動特性として時定数は  $H_1 + M$ ,  $H_1 - M$  となる。

第9図はA, B型の応動特性である。熱容量は、A型がB型のものより大きいものを使用した。各種の熱容量をもつ半導体を使用した応動特性の実例の比較を第10図に示してあるが、時限は熱容量の大きいものが大になつてゐる。加熱方法による変化は、熱伝導及び空気の対流にも原因するが、一端集中巻にすると時限が長くなる場合がある。

第9図は表示値が2乗目盛になつていないが、負荷電流  $I$  の増加による  $T$  の上昇とともに  $k$  が大になり、 $K_i$  が小になつて  $D_1$  が小になるためと思われる。

ヒータの加熱電力はA型、B型ともに最高値 1.6W まで実験したが、100%負荷として 0.5W で充分である。半導体作用素子の温度上昇は最高約  $85 \sim 100^\circ\text{C}$  以下である。



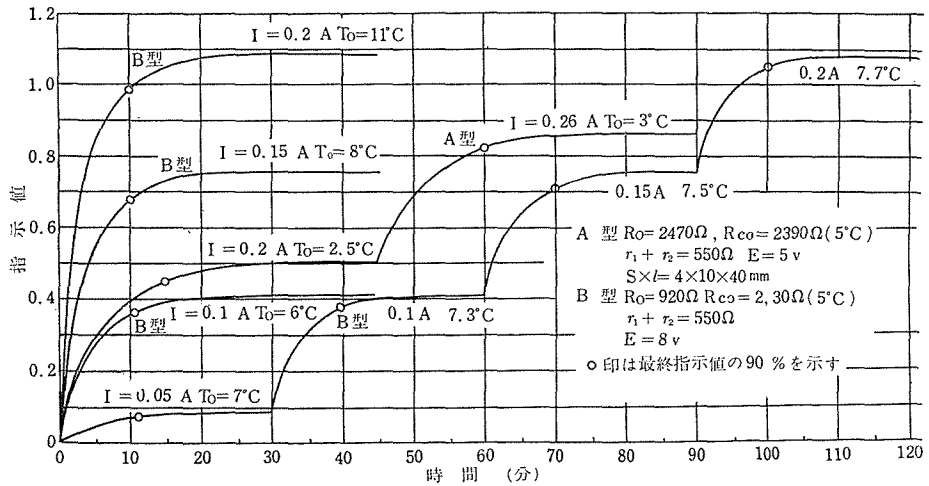
第8図 半導体  $R$  及び  $R_c$  の温度特性の実例

#### 2.4.2 温度特性

周囲温度が急激に変化した場合および変化がゆるい場合についての指示状態の比較を第11図に示す。温度変化の緩急による指示の差は、半導体  $R$ ,  $R_c$  の特性、特に熱伝導について吟味することによつて縮少することができた。A型は極めて良い結果を示している。曲線(12)は  $R$ ,  $R_c$  の熱伝導を吟味調整したもので、無負荷即ち  $I=0$  のときは  $i_g=0$  で温度変化の緩急にはともに無関係である。ここに使用したA型の半導体は同一温度に対し  $R \simeq R_c$  であるが、このような半導体を用いれば極めて安定で良い結果を与える。かかる半導体を作ることは金属マンガナイトを主体とする材料を用いれば容易である。

温度に対する指示誤差は第12図に示す。ただし力率はほぼ 100 % である。電流  $I$  が増





第9図 2素子法A型の応動特性

加して  $\theta = T - T_0$  が  $100^\circ\text{C}$  以上になると誤差は図示範囲以上になることがある。曲線 (1) は (1)' の場合の半導体素子を使用して、 $R$  及び  $R_c$  の熱伝導条件を近似させた場合の誤差で、 $50^\circ\text{C}$  までは  $30 \sim 40^\circ\text{C}$  の特性と同様で  $1\%$  以内である。 $30^\circ\text{C}$  前後で点がばらついているのは原因が判然としないが、材料そのものか、回路の電圧電流の変動のためであろう。

第11図、第12図において、 $R$ 、 $R_c$  の熱伝導に関する条件即ち周囲温度に対する条件を近似させれば、B型の場合でも特性は安定し誤差は小になる。例えば  $0 \sim 50^\circ\text{C}$  で  $3.2\%$  以下である。

本実験に使用した測定回路の電力は  $100\text{mW}$  以下である。ただしヒート電力は除く。

#### 2.4.2 力率特性

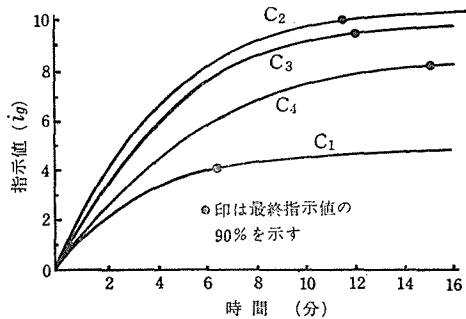
力率の変化に対して指示誤差を測定した結果が第13図である。力率が進み、遅れともに  $50\%$  に近づくと誤差が現われているが原因は判然としない。何れにしてもこの程度の誤差であれば特性は良好であると言える。

#### 2.4.4 周波数特性

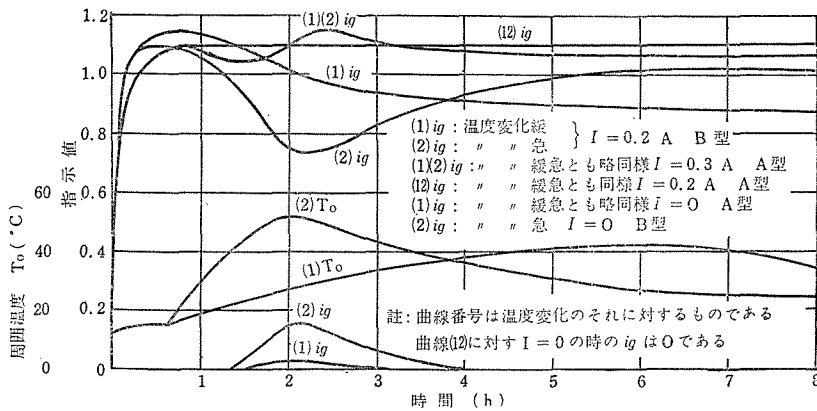
周波数が変化した場合の特性を第14図に示す。即ちこの方式の計器は殆ど周波数の影響はうけないようである。

#### 2.4.3 電圧特性

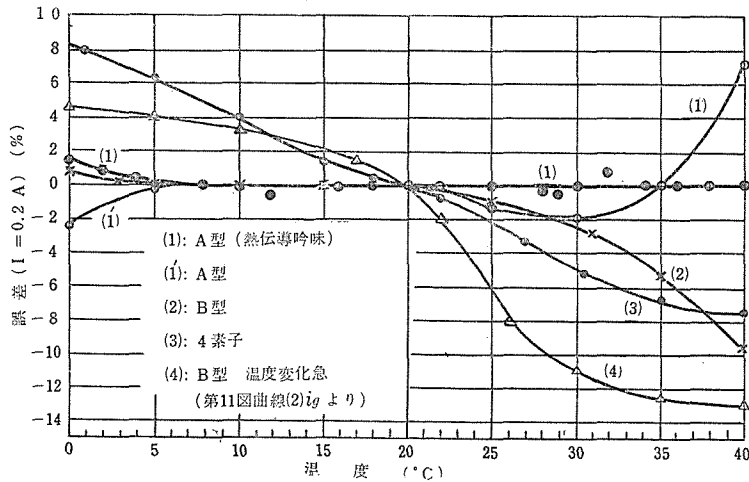
この研究にかかわる計器では電源電圧が変化すると、測定回路の電源に定電圧装置を



第10図 一定電力加熱の場合の押し針の歩み



第11図 周囲温度の変化に対する指示特性



第12図 温度特性

取付けない限り, (13)或は (13)'式から判るように電源電圧に比例した指示値となり, この関係を求めた結果を第15図に示す。

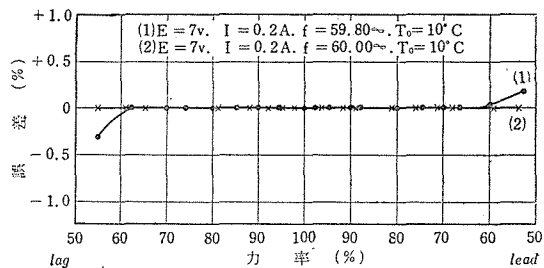
#### 2.4.6 電流特性

負荷(ヒータ)電流の変化に対する指示値の関係を第16図に示す。

$I=0.1 \text{ A}$  附近までは指示値は2乗目盛に近くなっているが, それ以上ではほぼ直線的である。このことは2.4.1でも述べたが熱伝導の関係によるものと思う。

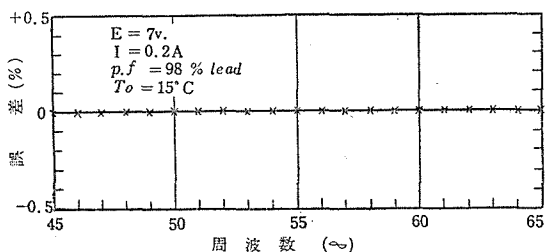
#### 2.5 考 察

半導体作用素子の大きさは時定数の決定に重要な役割をなし, 加熱法の影響とともに

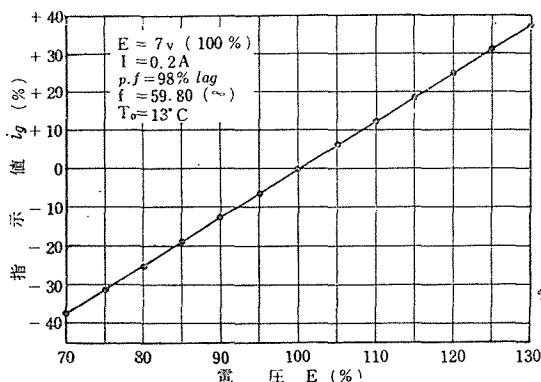


第13図 力率特性

応動特性および最終温度に深い関係をもっている。半導体素子の温度上昇は約  $85^{\circ}\text{C}$  以下にしたが、温度  $T$  が  $200^{\circ}\text{C}$  以下では抵抗温度特性は安定で数回にわたる測定値はよく一致しており、表示器としての応動特性も同一条件下では殆ど一致し、1年経過後の指示値は、0.8%以下の差を示した程度であ



第14図 周波数特性



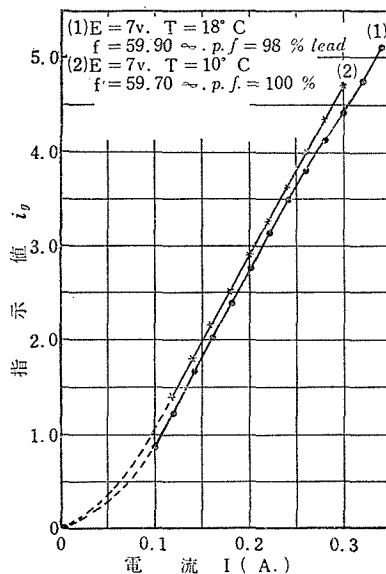
第15図 電圧特性

造にすれば、誤差は相当程度低下させることができる。一例をあげれば、周囲温度が  $0\sim 40^{\circ}\text{C}$  の範囲で 3%以下にすることができる。 $R$  と  $R_c$  の温度特性の近い二つの素子を用いれば誤差は更に小になる。尚4素子法については詳細は省くが、結果は良い値を得ている。しかし、2素子法に比較して極めて優れているとは判断しかねるので、総合的には4素子を採用するには検討を要すると思う。

(1) 加熱法 半導体作用素子とヒータの関係は熱伝導上に大きな影響がある。例えば両者間を密着することなく、若干の距離をおくと、熱伝導は対流と放射による熱伝達となり熱効率は低下する。これに対して電気絶縁物を介し、密着して巻くと熱効率は向上する。ヒータの巻き方により時定数が調整できることは、第1図および第7図に例示した方法により、熱伝導の関係

り、この0.8%には電源電圧計および需用表示計（電流計）の視誤差も含んでいる。

温度補償法としての2素子法によると、2素子の夫々の温度特性がほぼ一致していれば、温度誤差は小になる。しかしたとえ、第8図の破線のように  $R$  と  $R_c$  の間に大きな差があつても、第9図、第11図および第12図のようにその影響は比較的小であるが、周囲温度に対する熱伝導を吟味して適切な構



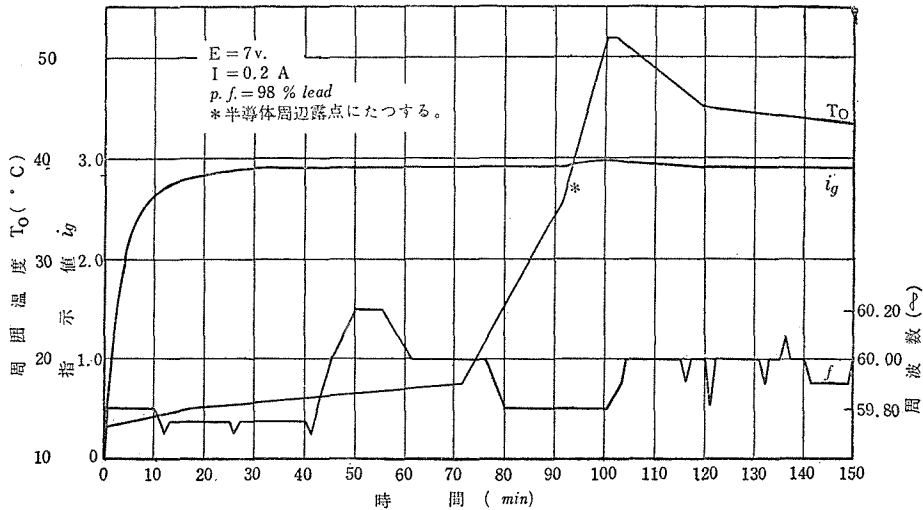
第16図 電流特性

から明かであろう。この実験ではヒータは細いニクロム線を用いて  $I=0.3A$  以下の電流にしたが、勿論太い加熱線を巻いて負荷電流を直接流すこともできる。

(2) 応動特性 半導体の大きさを調整して時定数を適当に選ぶことは第10図からも明かであるが、ヒータの巻き方からも可能である。

最終指示値の90%を示すまでの時間は、負荷が小の時は若干長くなっている。例えば、定格負荷の20%以下の負荷では、この時間が約10%長くなった。これは  $T-T_0$  が小であるので熱伝導の時間が長くなるためと考えられる。

(3) 温度特性 周囲温度変化の緩急によつて指示値に変化がある現象は、周囲から半導体への熱伝導に時間的差があるためと思う。この条件を吟味した結果が第11図であ



第17図 温度特性

り、A型、B型によつて差が現われている。同図曲線(12)は半導体の熱伝導を充分吟味した結果で極めて良好であると言える。尚温度変化を著しく急にした場合の一例を電源周波数の変化と共に示したのが第17図である。即ち周囲温度を約27分間に  $17^{\circ}C$  から  $52^{\circ}C$  まで変化させた場合、約  $38^{\circ}C$  附近で半導体周辺に露滴が生じたが、指示計の変化は約2%以下であり、比較的安定であると思う。

第8図の破線  $R$ ,  $R_c$  の素子を用いた2素子法の温度特性の第12図曲線(2)は誤差が比較的小であるが、その理由は、温度  $T$  および  $T_0$  の変化範囲が  $\gamma_j$  および  $\gamma_{cj}$  の変化に対して(9)式をほぼ満足するような値に近いからで、更に(9)式が成立するような、 $\gamma_j$ ,  $\gamma_{cj}$  およびその他の値を得たために誤差が極めて小になったものと思う。この条件をほぼ満足する半導体  $R$ ,  $R_c$  を作ることは比較的容易であるので、あえて  $r_c$  を入れる必要はない結果を得た。第12図曲線(1), (1)'はこれに該当している。曲線(1)は特に良好であるといえる。要するに(7), (9)式をほぼ満足する素子を用いれば好結果を与えるが、

この条件は技術的には決して困難ではないと思う。なおB型の例として  $R < R_c$  の素子についての結果を示したが、もちろん  $R > R_c$  の素子でもよい。この場合は温度による誤差は変化する。

(4) 力率特性 力率が変化しても指示値には殆ど影響はないが、力率が進み、遅れともに50%に近づくと誤差が生じる。更に力率が低下した場合の誤差については今後の実験によることとして省略した。図示した程度の特性ならば使用には充分満足できるであろう。

(5) 周波数特性 この実験には、交流発電機を使用して周波数の各値について行つたが、その結果は誤差が全く認めることができない。即ち周波数特性は殊に良好である。

(6) 電圧特性 この種の計器は指示回路電源の電圧に関係するので、 $I^2$  表示方式の場合は電圧の変化がそのまま現われる。従つて電圧の変化も加味した需給取引の場合にはこのままでも使用できるであろうが、一般には好ましくないので測定回路電源に定電圧装置を必要とする。或いは指示計に比率計を用いれば電圧変化の影響は小になる。

$(EI)^2$  表示方式の場合は電圧の変化に関係するが、定電圧装置は必要としない。

(7) 電流特性 負荷電流 即ちヒータ電流が変化すると指示値は変化するが、(3)式または(4)式に示したように  $I^2$  に比例するようになってゐる。しかし、 $I$ が増加するとヒータ及び半導体の温度によつて両者間の熱伝導について(1)式に示したようにならないため  $I^2$  表示にならないのであろう。即ち(1)式で  $k, K_h, D_1$  等が変化するので、 $I$ が小の時はほぼ  $I^2$  表示になるが、大になると  $I^2$  表示にならないでほぼ直線的になつてゐる。

### 3 最大需用電力計

前章で述べた需用計は皮相電力を表示するものであるが、本章では電力そのものの最大需用計について述べよう。この最大需用電力計については従来いくつかの種類のものが報告されている。しかし半導体を使用したものについては未だ例がない。

#### 3.1 原理および回路

この最大需用電力計は前章で述べた需用皮相電力計の原理と同様に半導体の抵抗温度特性を利用したものであるが、作用素子はもちろん温度補償用半導体素子をもヒータで加熱する方式にかかわるもので、いわゆる熱型のリンカーン最大需用電力計<sup>(7)</sup>の原理を用いたものである。この原理の概要を述べると次の通りである。

第18図はこの計器の回路であるが、負荷電流  $I$  が流れると、ヒータ ( $r_{H1}, r_{H2}$ ) 回路には負荷電流  $i=I/2$  の他に電圧  $E$  に比例する電流  $I_E$  が流れる。従つてヒータ  $r_{H1}$  には電流  $I_E+i$ 、 $r_{H2}$  には  $I_E-i$  が流れるから、この電流によつてヒータは発熱する。この電流の2乗の差は

$$(\dot{I}_E+i)^2 - (\dot{I}_E-i)^2 = 4\dot{I}_E i$$

となる。故に半導体2個に加わる加熱量は、半導体  $R_1$  には  $(\dot{I}_E+i)^2 r_{H1}$ 、半導体  $R_2$  には  $(\dot{I}_E-i)^2 r_{H2}$  となり、この加熱量の差が測定回路即ちホイートストンブリッジの指



$E=2V$  で、ヒータ  $r_H$  は  $1\phi$ 、各  $0.6\Omega$  のニクローム線を使用し、直接  $I=4A$  まで流せるようにした。実験回路は第18図で、指示計はY社製直流 10mA 整流型広角度計器に押し針、止り針をつけたものである。

次に実験結果であるが、半導体の大きさを約  $5 \times 21 \times 45mm^3$  とし、放熱係数を適切に考慮して、時限15分のもので使用した。応動特性、温度特性、周波数特性は前章の結果とほとんど同様である。従つてここには省略する。また電圧  $E_0$  と指示値の関係は全く同等である。電流特性は前章とほぼ同様であるが、 $I=1A$  以下では若干曲線になっている。力率特性は負荷電流を比較的大きく例えば  $0 \sim 4A$  の間にとつたため、適切な力率を調節するための装置が必要となり、目下実験中であるが、今までに得た結果では、力率  $\cos\phi=65 \sim 100\%$  (遅れ) 及び  $60 \sim 100\%$  (進み) の範囲では誤差  $\pm 3\%$  以内である。しかしこれ以上の低力率では  $3\%$  以上になるので更に検討している。

第19図はこの最大需用電力計の試作品の実例で指示計上部の箱の中に半導体素子等及び変圧器が内蔵してある。指示計の下部外側には端子が取付けてある。第19図では止り針は約 8.6 を指示している。

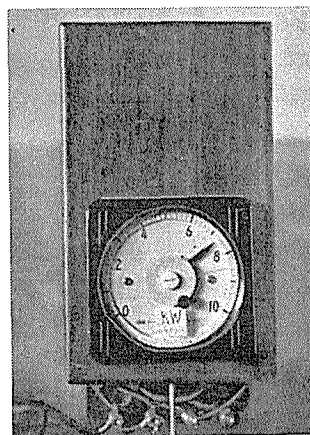
押し針と止り針の摩擦による影響は、止り針を押し針が押していく場合と、止り針が既にある値を指示していて、それ以下の範囲で押し針が指示する場合とでは異なり、その時間的差は後の場合の方が平均して約2分ほど早くなる。これについては指示計自体のことであるが今後検討しなければならない。

### 3.3 考 察

半導体を使用した熱型最大需用表示器としての研究に関する主な考察は前章の皮相電力計において述べたが、本章の電力計について試作実験した結果に関し前述と異なる点について考察する。

この電力計の場合は無負荷の時でも、電圧  $E$  に比例した電流  $I_E$  が流れるため、半導体は夫々  $I_E^2$  に比例して加熱される。従つて半導体はそれに相当した温度に上昇している。この場合半導体の抵抗温度特性が適切であり、ブリッジの平衡をとつておけば、周囲温度の変化に対しても又  $I_E$  が流れ始めて両半導体の温度が上昇して変化してもブリッジの平衡は保たれ、指示値は  $i_g=0$  になっている。この場合  $R_1=R_2$  ならばもちろんであるが  $R_1 \neq R_2$  で、例えば前章のB型の特性のものでも使用できる。無負荷ではあるが常時  $E \times I_E$  の電力は加熱損失として消費され、この実験では約  $3.3W$  である。この値を小にすることは設計により可能である。全負荷電流を  $I=4A$  とした場合ヒータ回路の加熱電力は約  $5.7W$  となる。この値も小にすることはできる。またブリッジ回路の電力は  $2.3W$  であるがこれについても同様である。

応動特性、温度特性、周波数特性、電圧特性及び電流特性については前章の場合と同様である。力率特性については誤差が力率  $65 \sim 100\%$  で進み遅れ共  $3\%$  以内である



第19図 熱型最大需用電力計

が低力率では3%以上になるので今後の検討を必要とする。

押し針と止り針の摩擦による影響を除くことは困難であるが、今後検討する予定である。しかし、本表示器としての使命は最大値の表示であるから、表示値は押し針と止り針が同時に動く場合が問題になるのである。従つてこの同時に動く即ち押し針が止り針を押すときの応動特性だけ考慮すればよいのではないかと思う。

本表示器に対する外部からの振動による影響については、特に実験しなかつたが、実験台の打撃振動及び計器に対する軽い打撃等による振動の影響は殆ど認められない。

## 4 結 言

感熱特性をもつ半導体の応用として考案試作し研究した熱型最大需用表示器について述べたが、従来使用されているバイメタルを用いた方式の計器とは構造が異なる。最近規定された誤差は3%以下であるが、本研究にかかわるものも需用皮相電力計についてはこの値に充分満足できる結果を得た。需用電力計については力率特性に検討を要する点があるが他の特性についてはほぼ満足できる。以上の研究結果を要約すると次の通りである。

(1) 安定な半導体素子を用い、熱伝導<sup>(6)</sup>を吟味すれば良い性能を発揮する。この種の半導体の安定度は比較的優れている。(2) 応動特性の時限は半導体素子の大きさ及び加熱法、放熱係数等により調整できる。(3) 需用皮相電力計にあつては、加熱素子は1個のみで、全加熱損失は1.6W以下である。たとえば負荷100%として0.6W消費すれば動作は充分である。需用電力計は半導体2素子が加熱され、加熱量も上記以上に大きく、例えば約5Wであるが、これを小にすることは可能である。(4) 半導体作用素子の大きさは3.7~4cm<sup>3</sup>のものを使用すると時限15分が得られる。この大きさ及び加熱電力等の縮小化は今後の研究で可能である。(5) 温度補償法には2素子法と4素子法があるが2素子法で充分である。(6) 2素子の温度特性がほぼ一致し、熱特性が条件をある程度満足すれば、表示特性は相当良い結果を与える。(7) ここに使用した半導体は、比較的再現性に富み、適当な値のものを製作することも容易である。(8) 表示法としては、需用皮相電力計では電流の2乗及び電圧×電流の2乗にほぼ比例する2方法があるが、実際には加熱効率の関係上、2乗目盛より小さい表示になり、需用電力計ではほぼ直線的な表示目盛になる。(9) 構造は指示法が電気式である。従つて指示計回路の電源を一定にするにはその装置が必要となる。しかし指示計に電圧の変化の影響をうけないような比率計を使用する方法がある。なお測定回路のみ直流にしてもよい。(10) 特性試験では、温度特性は熱伝導を吟味した2素子法の良いもので、0~50°Cの範囲で誤差の最高は0°C附近で1.6%、他の温度では1%以下である。熱伝導に関する吟味対策は簡単な方法で充分である。その他応動特性、力率特性、周波数特性、電圧特性、電流特性はほぼ満足できる結果を得た。しかし需用電力計の力率特性については検討すべき点がある。(11) この実験では交流を用いたが、直流にも使用できる。

本研究に御懇切な御指導を賜つている東京工業大学教授斎藤幸男博士に深く感謝の意



を表すると共に研究に便宜を与えられた本学小泉教授，在学中卒業研究として実験された松沢良朋，牧野丘両君並びに実験に協力された中村浩君に感謝する。

### 参 考 文 献

- (1) 例えば電気工学ハンドブック。
- (2) 小山：電気学会誌，72巻，8頁（昭27）。
- (3) 小山：電気学会誌，75巻，576頁（昭30）。
- (4) 鈴木：積算電力計・デマンドメータ取扱の実際（オーム社），23頁（昭27）。
- (5) 小山：信州大学工学部紀要，第5号，55頁（昭30—11）。
- (6) 小山：電気学会誌，76巻，17頁（昭31）。
- (7) 清水：電気磁気測定法並に測定器，1024頁（下巻）。
- (8) 電気学会：半導体材料劣化問題専門委員会資料。