

磁気抵抗効果素子による無接点電力継電器

武藤三郎・川合英之

CONTACTLESS POWER-RELAY BY MAGNETO-RESISTANCE ELEMENT

Saburo MUTO, Hideyuki KAWAI

The objective of this study lies in the development of the contactless power-relay circuit. Here especially are mentioned a fundamental study of the power detection circuit and that of the problem of time limit which is important to relay.

Making use of the magneto-resistance effect element with various characteristics for power detection in preference to the Hall element, the authors have carried on the power detection by the power detection circuit which gets magnetic flux through PT circuit, and element current through CT circuit; and we have been able to obtain, between element terminals, DC component voltage which is proportional to load power, and upon which the effects of the variations of load power-factor, load voltage, the current of the bias circuit, have turned out to be negligible practically.

Next comes the problem of the response; as the output voltage, between element terminals, responds instantaneously when load power changes suddenly, the relay of instantaneous response is possible this minute output voltage is amplified by an amplifier which is fast of response; and when it is amplified by the magnetic amplifier which is slow of response and combined with SCR, the relay with a certain time limit is also obtainable.

1. まえがき

本研究の目的は無接点電力継電器回路の開発にある。従来の電磁型電力継電器は可動部分を有するので、軸受及び接点等の腐蝕、摩耗のおそれがあり、保守点検が容易でなく、それに機械的振動、衝撃による誤動作のおそれもある。又慣性があるので瞬時復帰が出来ない上に、動作不確実となる領域が存在するので半導体素子による無接点電力継電器の開発が必要となる。

電力検出⁽¹⁾⁽²⁾回路にはホール素子より種々の特色を持つ磁気抵抗効果素子を用いた。磁気抵抗効果とは金属や半導体の抵抗が加えられた磁界によって変化する現象で、一般に磁界が弱い範囲では抵抗は磁束の2乗に比例して増加し、磁界が強くなると、ほぼ直線的に増加する。移動度の大きい $I_n Sb$, $I_n As$ 等の金属間化合物が開発されるに従って、最近工学的に意義を持つようになった。

Lippman, Kuhrt,⁽³⁾片岡氏⁽⁴⁾等はこの現象を物理的效果と形状的效果に分け、理論的、数式的に解明し、又実験的にも立証している。これらの報告によると総合的磁気抵抗効果は物理的效果より形状的效果がはるかに大きく、素子の形状を適当にすることによって感度を大

きくすることが出来る。又ホール素子と異って2端子であるので、ホール素子のように端子間の複雑な問題もなく、取扱いが容易である。よって本研究では磁気抵抗効果素子による電力検出を行った。

ここでは特に電力検出回路についての基礎的研究、並びに Relay では重要な時限の問題について研究を行ったのでここに報告する次第である。

2. 理論並びに研究方法

2-1 磁気抵抗効果特性

素子に一定直流電流 10mA を流し、励磁巻線には直流励磁電流を零より次第に増加させて流し、各電流値に対する素子両端の電位差を測定した。又ホール端子を短絡、開放及び端子間に抵抗 1Ω , 15Ω を挿入した場合、及び外部よりホール端子間に直流電圧を印加した各場合について同上の測定を行った。

2-2 電力検出回路と理論

PT回路により信号磁束を、CT回路により素子電流を取る Fig. 1 の如き回路により電力検出を行った。鉄心Aは断面 $30 \times 35.5\text{mm}$ で gap 1.9mm 、日本金属製 0.3mm 厚さの方向性珪素鋼帯である。バイアス巻線500 T、励磁巻線500 Tで本測定に関しては鉄心に gap が存

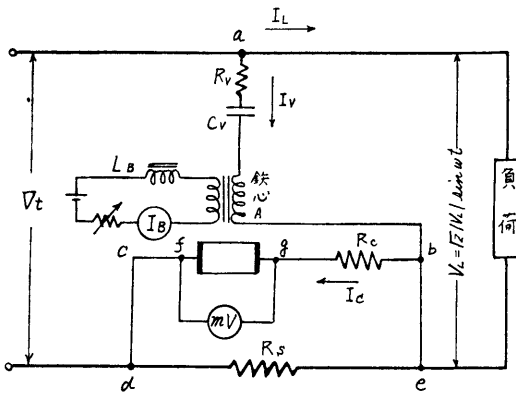


Fig. 1 電力検出回路

在し、又鉄心の飽和の影響はなく、鉄心励磁アンペアタ

$$I_c = K_3(I_V + I_L) = K_3\{K_1\sqrt{2} | V_L | \sin(\omega t + \varphi_V) + \sqrt{2} | I_L | \sin(\omega t + \varphi)\} \dots\dots\dots(4)$$

よって素子端子間の電圧降下 v は

$$v = I_c R = K_3\{K_1\sqrt{2} | V_L | \sin(\omega t + \varphi_V) + \sqrt{2} | I_L | \sin(\omega t + \varphi)\} \cdot \{R_B + K_2\sqrt{2} | V_L | \sin(\omega t + \varphi_V)\} = K_2 \cdot K_3 \cdot | I_L | | V_L | \cos(\varphi - \varphi_V) - K_2 \cdot K_3 | I_L | | V_L | \cos\{2\omega t + (\varphi + \varphi_V)\} + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot 2 \cdot | V_L |^2 \sin^2(\omega t + \varphi_V) + K_1 \cdot K_3 \sqrt{2} | V_L | R_B \sin(\omega t + \varphi_V) + K_3 \sqrt{2} | I_L | R_B \sin(\omega t + \varphi) \dots\dots\dots(5)$$

よって時間的平均は

$$v = 1/T \int_0^T v dt = K_2 \cdot K_3 | V_L | | I_L | \cos(\varphi - \varphi_V) + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot | V_L |^2 \dots\dots\dots(6)$$

ここで $\varphi_V = 0$ とすることが出来、又第2項の $K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot | V_L |^2$ を無視することが出来れば、

$$\bar{v} = K_2 \cdot K_3 \cdot | V_L | | I_L | \cos\varphi \dots\dots\dots(7)$$

となり、素子両端の電位差の直流分は負荷電力に比例したもとなる。

バイアス回路のリアクタンス L_B は信号磁束により、バイアス回路に誘起される交流分電流を減じて、電力検出誤差及び感度の低下を防ぐものである。

次に Fig. 2 の如くバイアス回路に電池の代わりにダイオードのみを挿入し、信号磁束によって誘起する誘起電圧を整流し、バイアス電流とした場合について考えてみる。この誘起電流による抵抗変化を $K_0\sqrt{2} | V_L | \sin(\omega t + \pi)$ とすれば、素子の抵抗変化は

(i) 正の半サイクル

$$R = K_0\sqrt{2} | V_L | \sin(\omega t + \pi) + K_2\sqrt{2} | V_L | \sin\omega t \dots\dots\dots(8)$$

(ii) 負の半サイクル

$$R = -K_2\sqrt{2} | V_L | \sin\omega t \dots\dots\dots(9)$$

よって素子電流を $I_S = K_3\sqrt{2} | I_L | \sin(\omega t + \varphi)$ とすれば (枝路 $a b$ 間の電流 I_V を無視する)、素子端子間の電圧の平均値は

$$\bar{v} = 1/2\pi \int_0^{2\pi} I_c \cdot R_{dS} = -\frac{1}{2} \cdot K_0 \cdot K_2 | V_L | | I_L | \cos\varphi \dots\dots\dots(10)$$

ーンは非常に小さいため、枝路 $a b$ 間の電流はほぼ正弦波と見てよい。

枝路 $a b$ に負荷電圧 $\sqrt{2} | V_L | \sin \omega t$ に比例し、かつ φ_V なる相差をもつ電流 I_V

$$I_V = K_1\sqrt{2} | V_L | \sin(\omega t + \varphi_V) \dots\dots\dots(1)$$

を流せば素子の抵抗 R は

$$R = R_B + K_2\sqrt{2} | V_L | \sin(\omega t + \varphi_V) \dots\dots\dots(2)$$

但し R_B はバイアス磁束により素子の特性の直線部分のある動作点にバイアスされた一定抵抗値である。

負荷の力率角を φ とすれば負荷電流 I_L は

$$I_L = \sqrt{2} | I_L | \sin(\omega t + \varphi) \dots\dots\dots(3)$$

素子に流れる電流 I_c は枝路 $b c$ 間のインピーダンスは大部分抵抗分であり、 $d e$ 間は純抵抗とすれば、

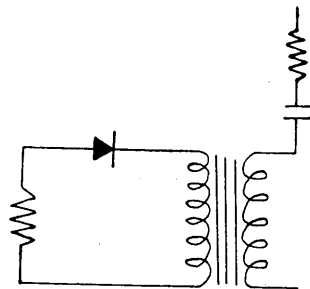


Fig. 2 バイアス回路にシリコンダイオードのみを挿入した場合

ここで K_0 は素子の自乗特性に関係する常数で、この場合は素子両端の電圧波形の直流分は負荷電力の自乗に比例したものとなる。

2-3 応答速度の測定方法

素子両端の出力電圧波形は(5)式に示される如く直流分を含む交流波形であるので、この直流分を増巾方法に自己飽和型磁気増巾器を使用した。負荷電力が急変した場合の素子両端の電圧波形の応答、並びに磁気増巾器出力電流の応答をシンクロにより調べた。

無接点スイッチング回路には SCR を使用した。磁気増巾器出力を SCR ゲート回路に加え、スイッチング作用を行わせた。

3. 実験結果及びその考察

3-1 磁気抵抗効果素子の特性

$I_n S_0$ single cristale $3 \times 6 \times 0.08\text{mm}$. キャリヤ密度 $n = 1.6 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$, 移動度 $\mu = 71000 \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$, 抵抗率 $\rho = 5.2 \times 10^{-3} \Omega\text{-cm}$, 両電極間に等間隔に短絡線 2 本を設けた素子 (以下試料 1) 及び Siemens 製 FA 22e ホール素子, $2 \times 6 \times 0.1\text{mm}$, $R_H = 300 \text{cm}^3/\text{A}\cdot\text{S}$ (以下試料 2) について磁気抵抗効果を調べた。

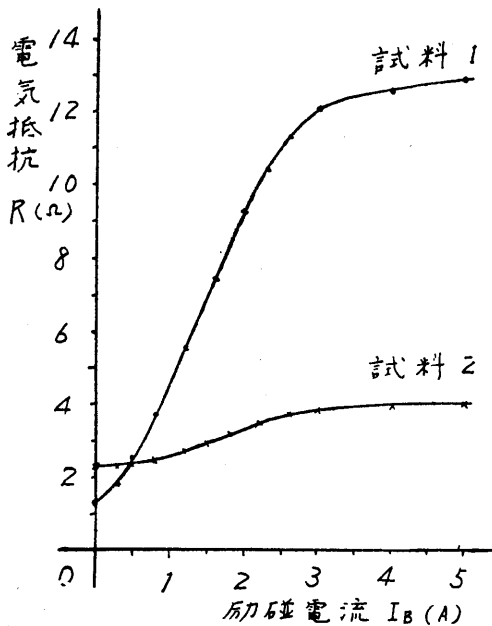


Fig. 3 素子の磁気抵抗効果特性
 試料 1. $I_n S_0$ Single Crystale
 ($3 \times 6 \times 0.08\text{mm}$ Short Bar 2本)
 試料 2. FA 22e Hall element
 (ホール端子短絡)

Fig. 3 は試料 1 と試料 2 のホール端子を短絡した場合について磁気抵抗効果特性を比較したもので、横軸に励磁電流 (1 A で磁束 3.5kg に相当) 縦軸に素子両端の抵抗値が示してある。試料 1 が自乗範囲は少く、感度も高い。これには素子の形状効果及び R_H の値が大きく関

係している。尚励磁電流が 3 A 以上で飽和現象を呈しているのは鉄心の飽和によるものである。

Fig. 4 は試料 2 についてホール端子間に抵抗 1Ω ,

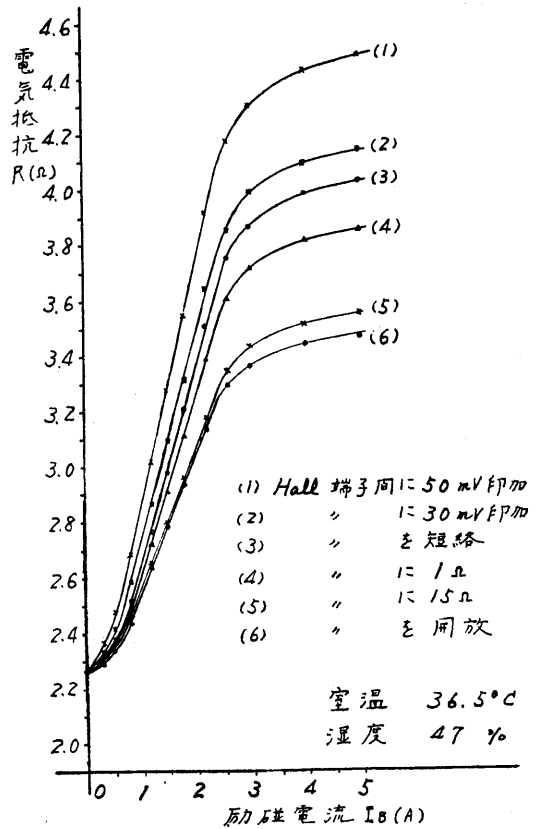


Fig. 4 Hall element FA22e の
 磁気抵抗効果特性

15Ω を挿入した時、及び両端を短絡、開放した各場合について、又外部よりホール端子間に一定直流電圧を印加した場合についての素子の特性の変化を調べたもので、ホール端子間を接続し、半導体片のホール電界の大きさを変えることによって、素子の特性を変えることが出来、又外部より直流電圧を印加してやれば特性を更に大きく変化出来ることを示している。

3-2 電力検出

試料 1 及び試料 2 を用い Fig. 1 の回路により電力検出を行った結果を Fig. 5 に示す。素子両端 $f \cdot g$ 間に負荷電力に比例した直流分電圧が得られた。バイアス電流は Fig. 3 の特性より 1.4A とした。試料 1 の感度が高いことは Fig. 3 の特性より明かである。電力が零においても出力電圧が存在するのは(6)式の第 2 項の影響で、鉄心 A の巻数を増し (本実験では 500T) ab 間の励磁電流を減じることによって無視出来るものとなる。位相条件として技路 ab 間の電流は鉄心の gap が大きいため本測定範囲では正弦波で、負荷電圧 V_L と同相である。

Fig. 6 にバイアス回路の電流を変え、動作点を種々

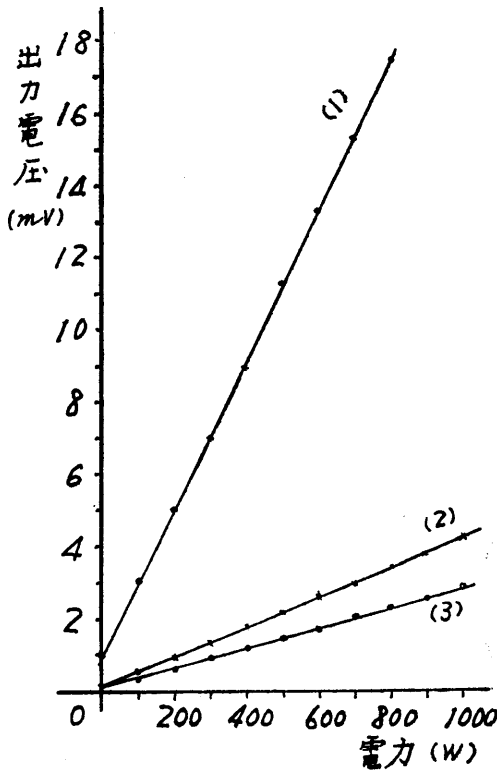


Fig. 5 電力検出特性

- (1) 試料 1
- (2) 試料 2 (ホール端子短絡)
- (3) " (" 開放)

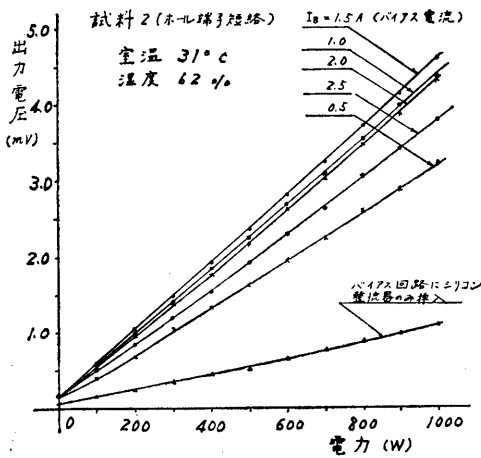


Fig. 6 電力検出へのバイアス電流の影響

変えた場合の特性を示す。バイアス電流 1.5A が感度も一番高く直線性も良い。バイアス電流が 1A から 2A の変動範囲では出力電圧の変動は比較的少ない。バイアス電流 0.5A, 2.5A の場合は共に素子の特性の直線部分からはずれするため (2.5A は鉄心の飽和現象のため) 感度も低下し直線性も悪くなる。

更に Fig. 6 には Fig. 2 の如くバイアス回路にダイオードのみを入れ、信号磁束によって誘起する電圧を整流しバイアス電流とした場合の特性を示す。この場合(10)

式が示す如く素子の自乗部分の特性に関する K_0 の値により出力電圧は自乗特性となり、感度は非常に低下した。

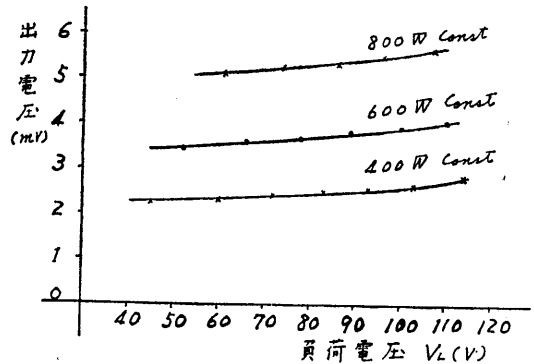


Fig. 7 電力検出への負荷電圧の影響

次に負荷電力を一定とした場合に負荷電圧 V_L の違いが電力検出に与える影響について調べたのが Fig. 7 である。負荷電圧の低下にともなって出力電圧はやや低下した。この原因は明らかに前述(6)式の第 2 項の影響である。この誤差の値は電圧の 2 乗に比例するから、電圧が低下するにつれ出力電圧の低下は少くなっている。この影響も当然前述の如く励磁巻線数を増加させることによってなくすことができる。

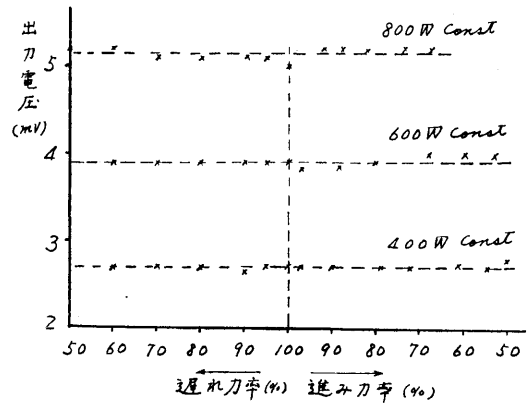


Fig. 8 電力検出への力率の影響

Fig. 8 は前述と同様負荷電力を一定とした場合に負荷の力率の違いが電力検出に与える影響について調べたものである。遅れ力率 50% から進み力率 50% までほぼ一定の値となった。多少のバラツキは測定上の誤差によるものであろう。

尚力率が非常に悪くなったり、又前述の場合で負荷電圧が非常に低下した場合、回路常数である K_1, K_2, K_3 への影響はなかった。

3-3 応答速度

Fig. 1 の回路で負荷の電力が急増した場合、素子両端 $f \cdot g$ 間の出力波形の応答をシンクロにより調べたものが Fig. 9 である。負荷の急変によりほとんど瞬時応

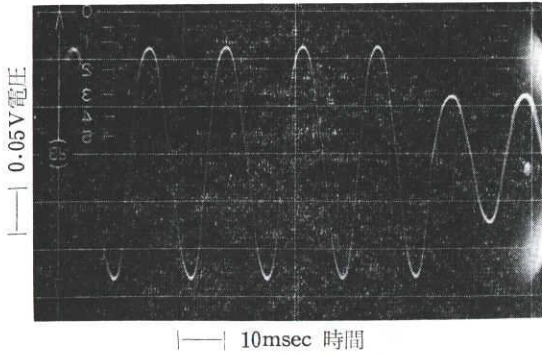


Fig. 9 負荷電力急変時に於ける素子両端出力電圧の応答波形

答していることがわかる。

次にこの $f \cdot g$ 間の微小直流分電圧の増巾に自己飽和型磁気増巾器を使用し、前述と同様負荷を200Wから400W、600W、800W、1000Wへと急変させた場合の増巾器出力電流の応答を調べたものが Fig. 10 である。増巾器

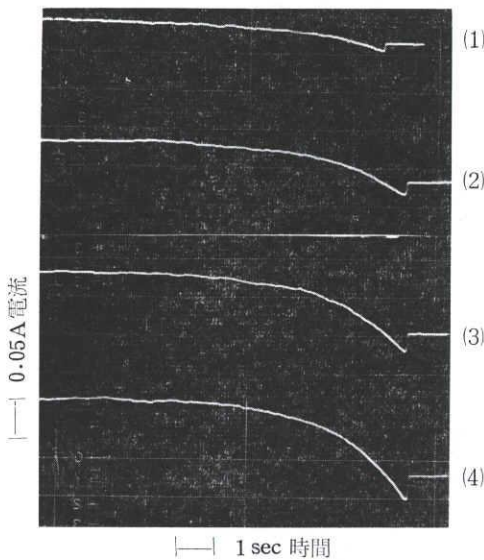


Fig. 10 磁気増巾器出力電流の応答波形 (負荷急変時)

- (1) 200Wから400Wへ
- (2) " 600Wへ
- (3) " 800Wへ
- (4) " 1000Wへ

制御巻線回路の抵抗が比較的小さいので、時定数は大きくそのため応答速度はかなり遅いものとなった。

次にこの磁気増巾器出力と SCR ゲート回路とを組合せてスイッチング作用を行かせたものが Fig. 11 である。最右端のラインの出発点が負荷急変時で、これよりある時限後 SCR は点弧し、主回路に電流を流している。この特性を横軸に電力、縦軸に時間をとって示したものが Fig. 12 で反限時性の Relay となった。

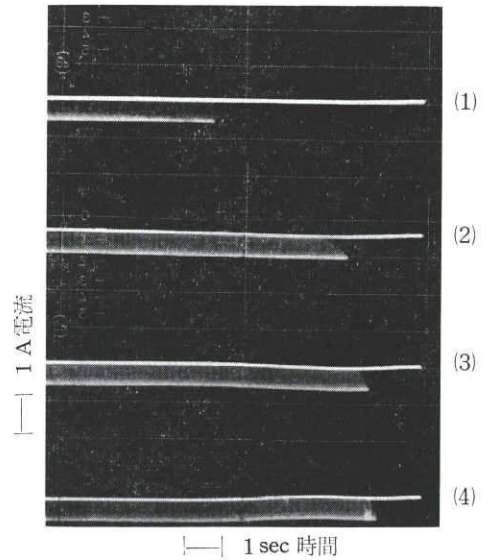


Fig. 11 SCR によるスイッチング特性 (負荷急変時)

- (1) 200Wから400Wへ
- (2) " 600Wへ
- (3) " 800Wへ
- (4) " 1000Wへ

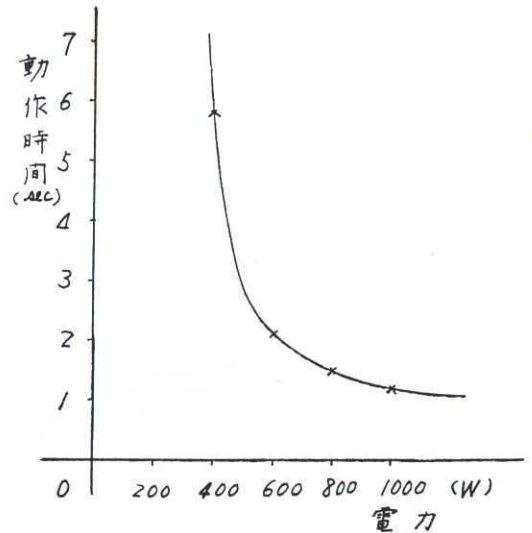


Fig. 12 Relay の特性

4. むすび

電力検出回路に磁気抵抗効果素子を用いれば素子の両端に負荷電力に比例する直流分電圧を得ることが出来、この値はホール素子による出力より大きい。又この値に対する負荷力率、負荷電圧の影響、バイアス回路の電流の変動による影響は実用上さし支えないものとして出来る。負荷電力が急変した場合の素子出力電圧は瞬時応答するので、適当な応答の早い直流増巾器を用いれば瞬時応答の Relay が可能であり、又応答の遅い磁気増巾器とか、CR 積分回路等により一定時限後に増巾し

これを SCR にてスイッチングすればある時限特性をもつ無接点電力継電器とすることが出来る。尚特に時限回路の研究については不充分の点もあるので、今後更に研究を続けて行きたい。

最期に御支援を賜った電気試験所の片岡氏並びに成田氏に厚く謝意を表す次第である。

文 献

- (1) H. E. M. Barlow : Proc. Instn. Elect Engrs 102, Pt. B 179, 186 (1955)
- (2) 片岡 : 電気学会誌 Vol83-6 No. 897
- (3) V. H. J. Lippmann U. F. Kuhrt : Z. Naturforsch, 13a, 462 (1958)
- (4) 片岡・藤定 ; 電試彙報 27. 5 (昭和38. 5)