

ス キ ャ ニ ン グ 装 置

Scanning Apparatus

木 村 尚 一* 小 淵 要**
Naokazu Kimura Kaname Obuchi

内 容 梗 概

スキヤニング装置では熱電対や測温抵抗体などの温度検出器を増幅器などを介することなく直接接続する方式を採用しているが、このような低レベルの信号を扱うときに問題になる伝送線からの誘導雑音について、実際条件にかなり近い条件の模型について検討した結果と実測例について述べる。本装置に多数使用しているネオンランプ表示器は直流電圧にパルスを重ねて微小な電圧で点滅制御できるもので、トランジスタ論理回路の動作を直接表示できるようにしてある。ピンボードプログラマは見やすく安価であること、確実であることを目的として開発したものでこれを紹介する。

1. 緒 言

筆者らは昭和31年にスキヤニング装置の研究に着手し、昭和34年には全トランジスタ化した装置を完成した。開発の当初より特に重点的に考えた点は、信頼性が高いこと、経済的であること、取り扱いや保守を容易にすることなどで、このため構成素子をソリッドステート化し、回路余裕を十分とり、さらに自動検定、自動校正装置を完備するなどの方法を取り、プリント配線、プラグインシステムを全面的に採用した⁽¹⁾。3に述べるピンボードプログラマ、ランプ表示器などもこの考えから開発したものである。また装置の設備費を軽減する意味で、熱電対、測温抵抗体を前置増幅器を介することなく直接本体に接続できるようにしたが、このため雑音対策が問題となった。雑音対策は、発生する雑音を小さくすることと、発生した雑音の影響を少なくすることの両面からなされなければならないが、後者については“周波数計数形 A-D 変換器”の採用によって効果をあげていることはすでに述べた⁽²⁾とおりであって、本稿では前者について検討する。

2. 入力信号と入力回路

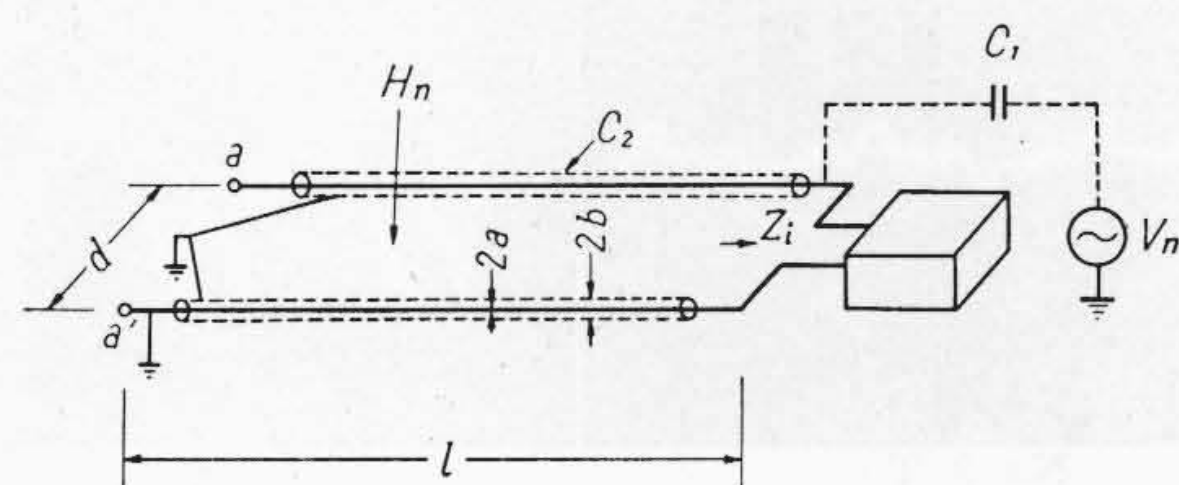
スキヤニング装置では温度、流量、圧力をはじめ電力、回転数、そのほかあらゆる工業量に関する情報を取り扱うが、これらの工業量は一般に検出器(一次変換器)あるいはさらに二次変換器を介して適当な信号に変換され伝送される。現在、一般の工業計測に使用されている伝送信号としては直流電圧、直流電流、抵抗、交流電圧、パルス周波数、空気圧など各種のものがあ、その定格値の選定もまちまちであるが、スキヤニング装置では次に述べる理由により直流0~10mVを標準方式としている。

すなわち。

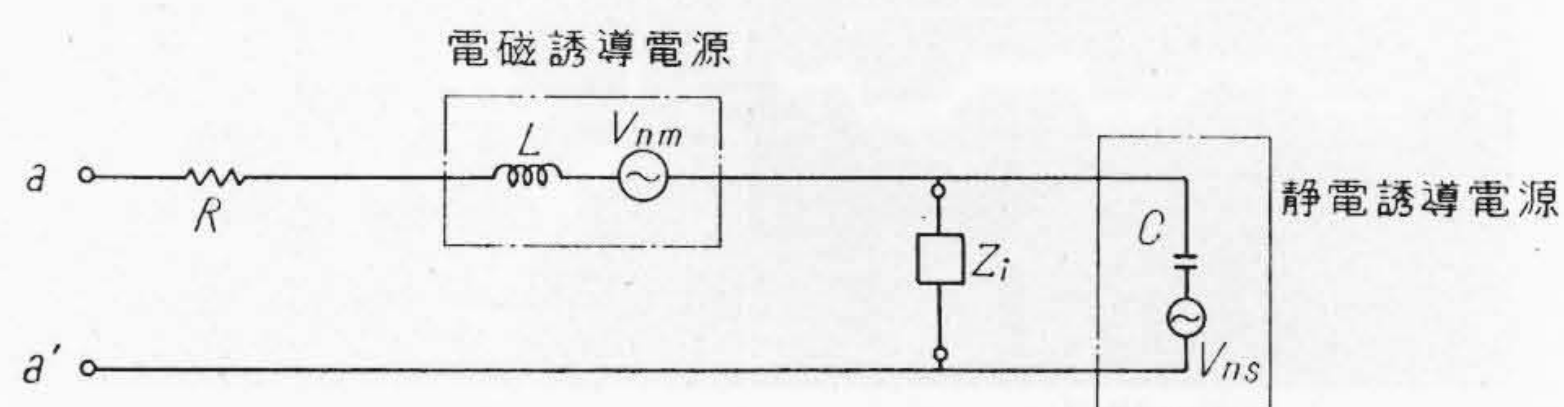
(a) 現在、工業用に使用されている検出器の約半数は温度検出器であるが、温度は熱電対や測温抵抗体によって容易に直流電圧に変換される。これらの検出器を増幅器を介さないで直接スキヤニング装置に接続できるようにすれば設置に要する費用が少なくてすむ。

(b) 熱電対の発生起電力は通常数mVで、現用の工業用検出器の出力信号としては最小と考えられ、他のほとんどのものはこれより大きく、これらは分圧によって容易にレベルを統一することができる。

(c) 圧力、流量の検出器においてもっとも多く使用されている電流伝送方式のものでは標準抵抗を入れればよく、圧力変換器で



第1図 信号伝送回路の模型



第2図 第1図の雑音に関する等価回路

は後に一例を示すように電圧形の簡易なものも使用できる。

(d) パルス周波数は充放電の原理により、空気圧は空電変換器により容易に直流電圧に変換することができる。

(e) 一般的な特性として直流電圧信号は比較的普遍性があり、標準が容易に得られ、電気信号であるため伝送の遅れを生じない。

しかし一方では信号レベルが低いために、伝送線その他で発生する雑音には常に注意を払う必要がある。特にスキヤニング装置は切替走査を行なうため他の工業計器に比べて装置の所要帯域が広く、信号と雑音の帯域の相違を利用してS/N比の改善を図ることが困難であることを考えればなおさらである。

以下伝送線の誘導雑音について検討した結果と、温度検出器を接続する場合の入力回路についてのべる。

2.1 誘導雑音

誘導雑音の種類は多いが實際上最も問題となるのは商用周波電源からの静電誘導と電磁誘導であろう。誘導雑音の大きさは配線方法、配線の長さ、周囲の状況などで変わってくるが、伝送線の模型として第1図に示すものを考えて計算した結果につき述べる。この模型は心線の直径2a、外径2bのシールド線2本を長さlだけ間隔dで平行に配置したもので、心線の一方とシールド外被を接地し、終端に内部インピーダンスZiの検出器を接続する。この配線と直角な方向にHnの交流磁界があり、かつ容量C1でもって交流電源に接続されている。このような配線の誘導雑音に関する等価回路は第2図のようになる。第2図で

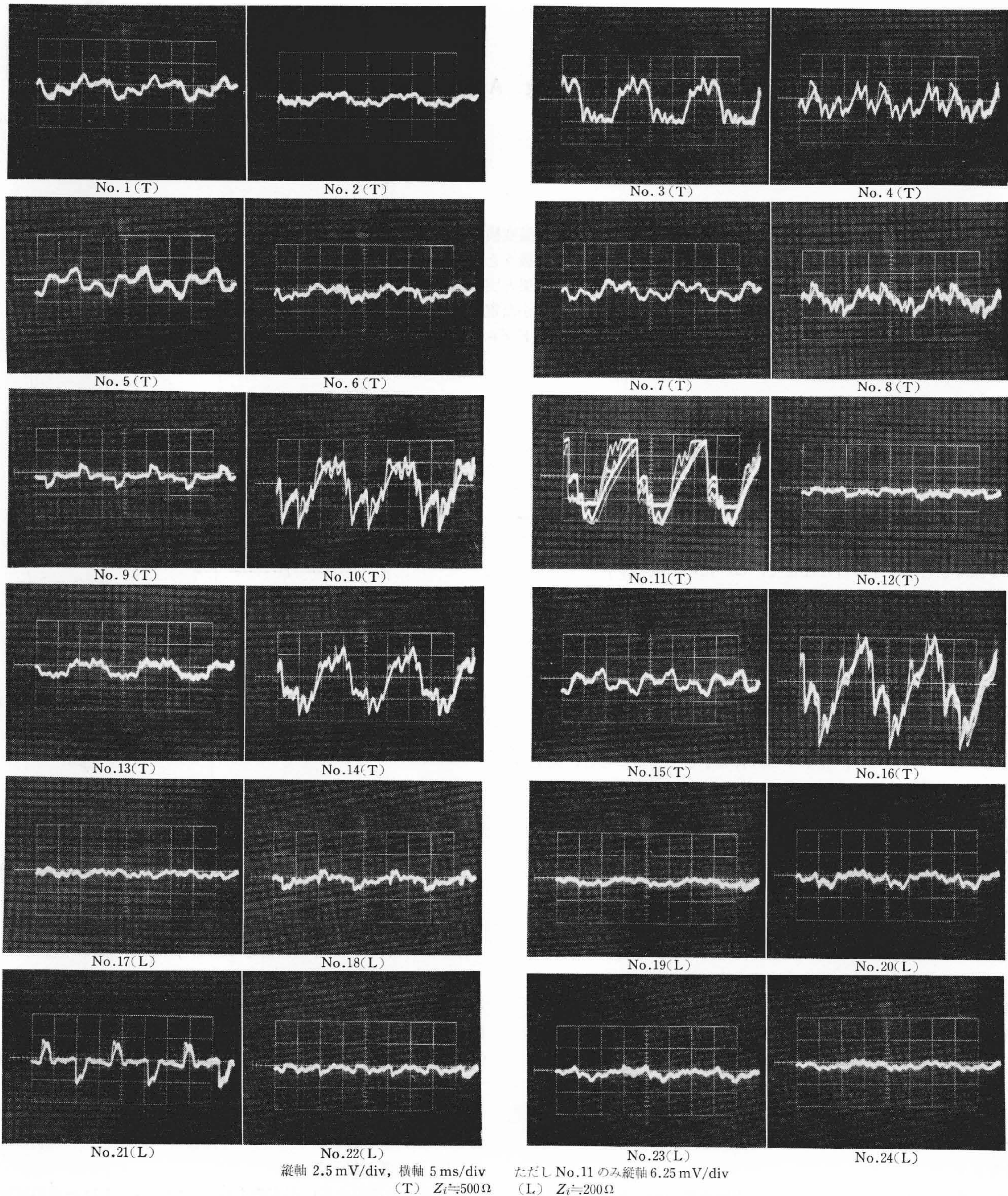
R: 導線の抵抗

L: 自己インダクタンス

C=C1+C2

* 日立製作所那珂工場

** 日立製作所本社



第 3 図 雑 音 波 形 の 測 定 例

$$V_{ns} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} V_n \dots\dots\dots (1)$$

$$V_{nm} = \omega \mu H_n d l \quad (\text{V}) \text{ (MKS)} \dots\dots\dots (2)$$

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \left(l_n \frac{d}{a} \right) l \quad (\text{H}) \dots\dots\dots (3)$$

ω : 電源の角周波数

電源周波数: 50 c/s $l = 100 \text{ m}$, $a = 0.5 \text{ mm}$, $d = 5 \text{ mm}$

$V_n = 100 \text{ V}$, 絶縁物の誘電率 $\epsilon = 3$, $C_1 = 10 \text{ pF}$

$H_n = 0.1 \text{ oersted}$ の場合には

$$V_{nm} \doteq 1.5 \text{ mV}$$

$$L \doteq 46 \mu\text{H} \quad \omega L \doteq 14 \text{ m}\Omega$$

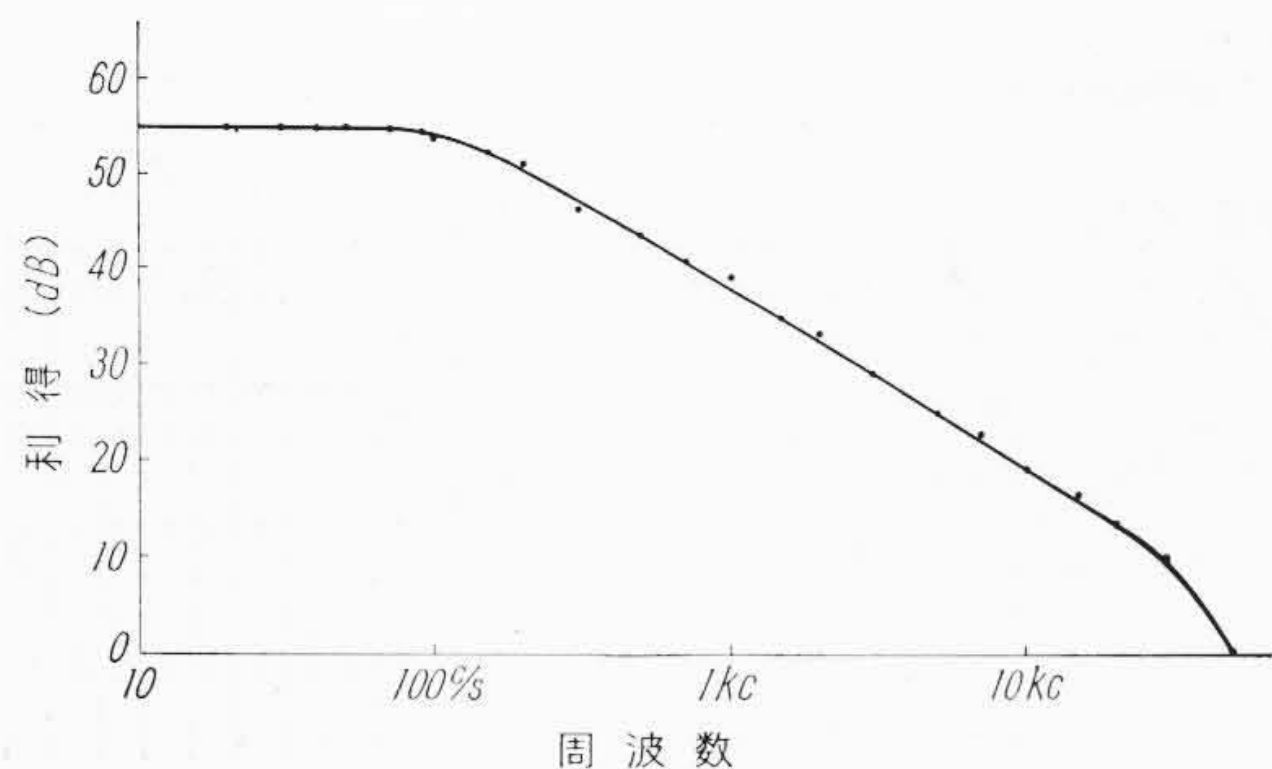
$$C_2 = 0.01 \mu\text{F}$$

$$V_{ns} \doteq 100 \text{ mV}$$

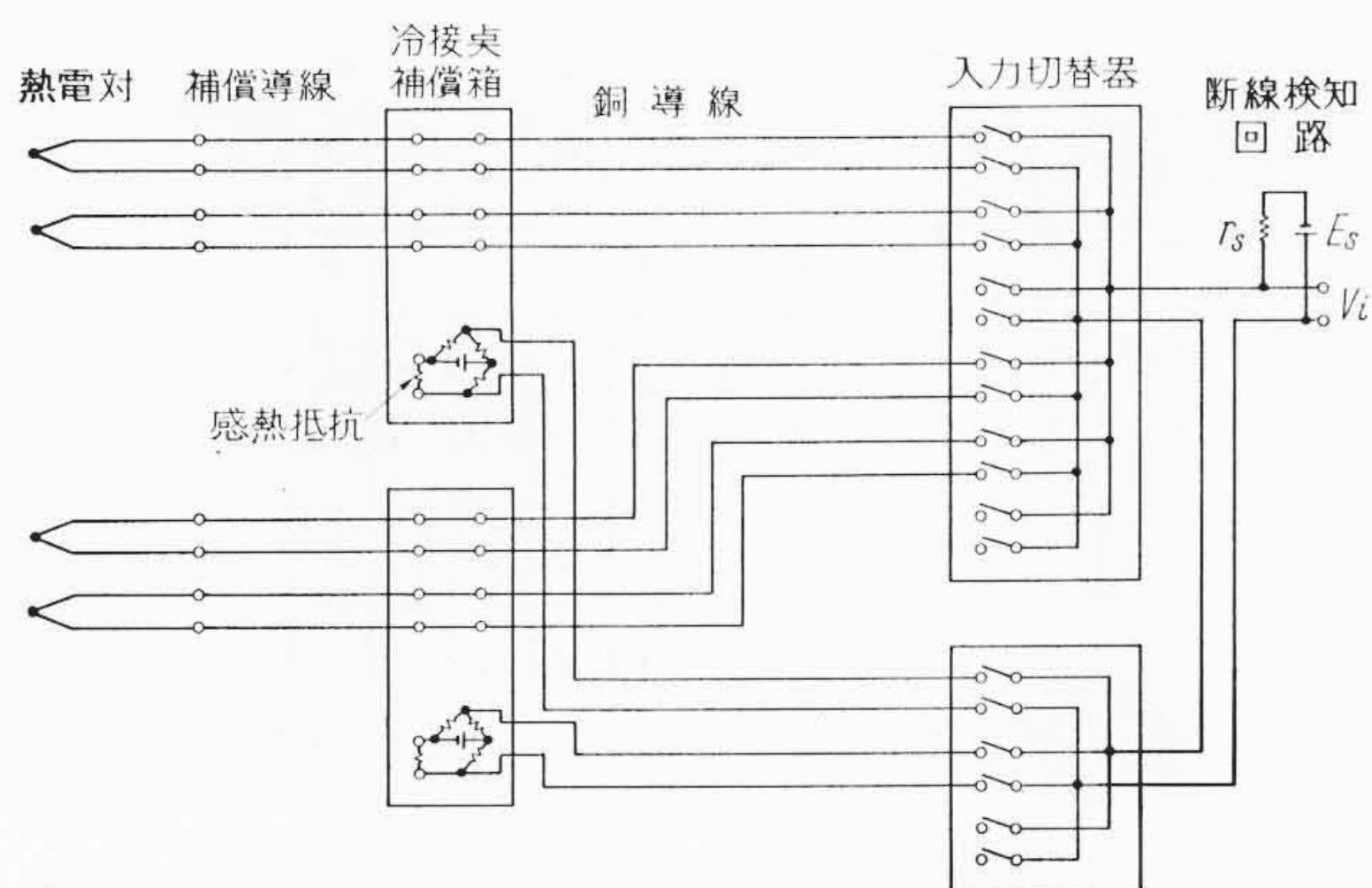
$$\frac{1}{\omega C} \doteq 300 \text{ k}\Omega$$

$$V_{nm} = 1.5 \text{ mV}$$

端子 $a-a'$ に現われる雑音のうち、電磁誘導に基づく成分は Z_i によってほとんど変化しないが、静電誘導に基づくものは Z_i によって大きく変化する。上記の数値例では Z_i が $5 \text{ k}\Omega$ 以下では電磁誘導の成分が主になり、 $5 \text{ k}\Omega$ 以上では逆に静電誘導に基づくものが主になる。第 3 図はある化学工場における雑音波形の実測例で測定は入力インピーダンス $200 \text{ k}\Omega$ 、周波数帯域 100 c/s (第 4 図参照) の増幅器を介



第4図 波形観測に使用した増幅器の周波数特性

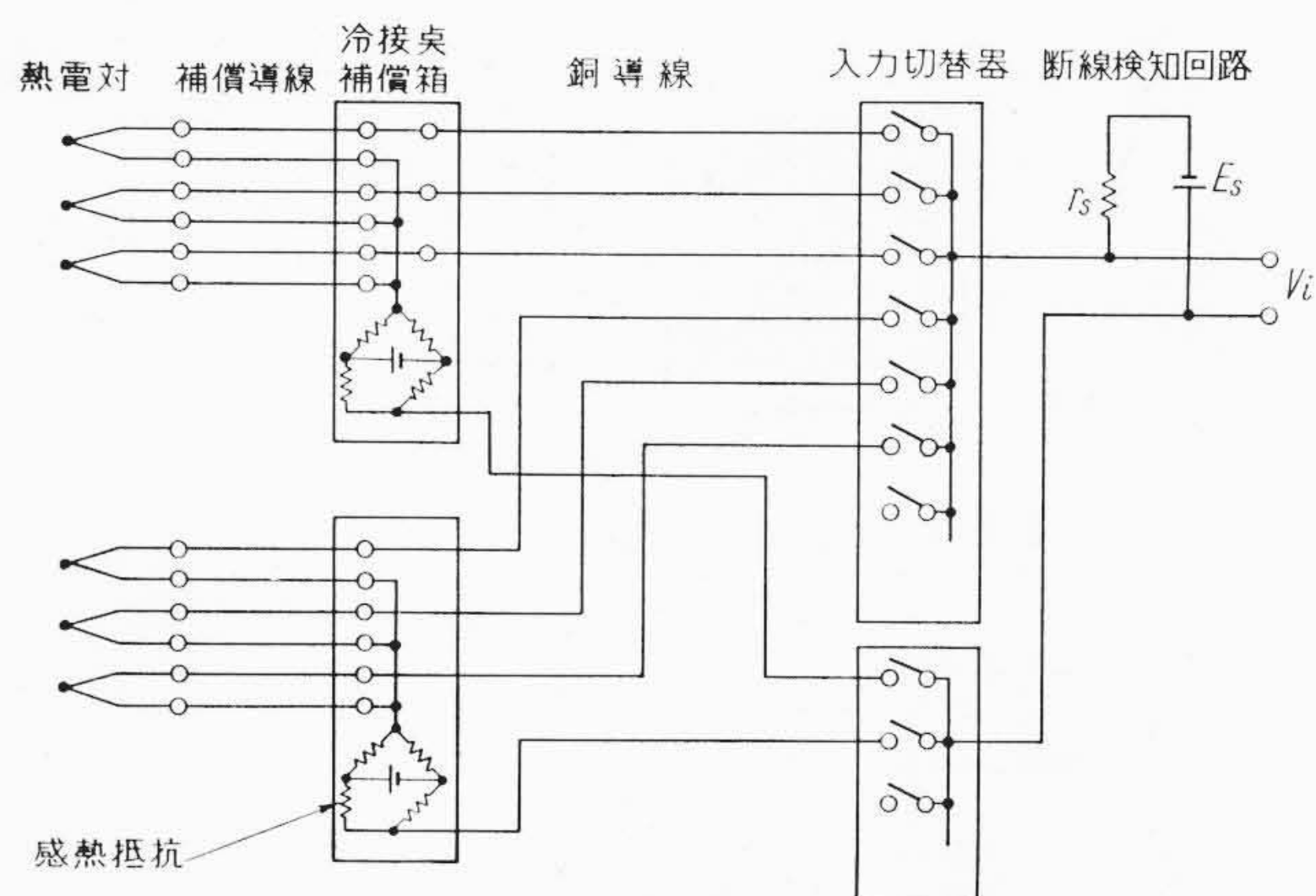


第5図 熱電対を検出器とする入力回路(1)

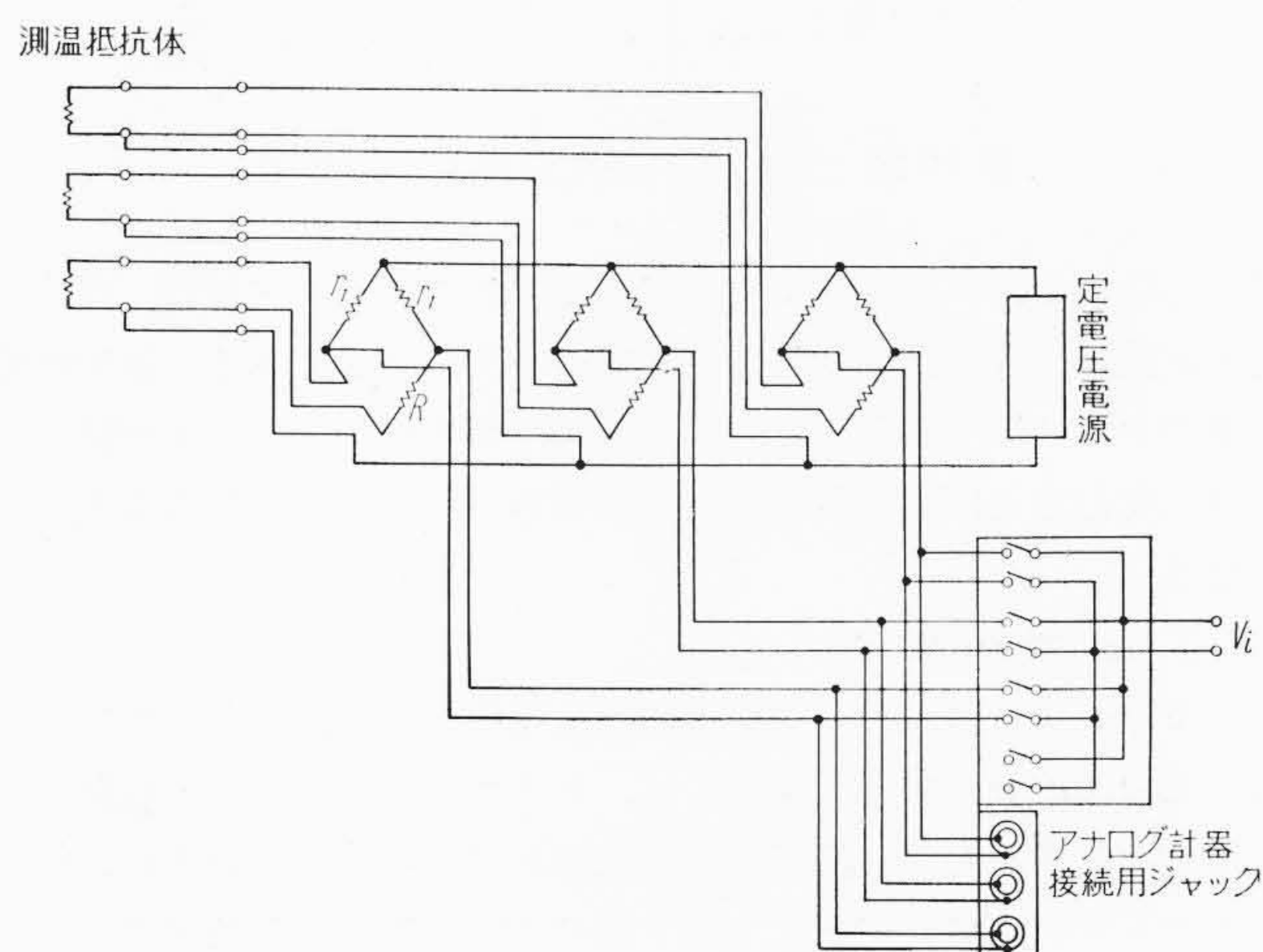
して測定点24箇所測定したものである。図中(T)とあるのは検出器の内部インピーダンス Z_i が約 $500\ \Omega$, (L)とあるのは約 $200\ \Omega$ のものである。図中 No. 11 と No. 16 は電子管式指示計がスキャニング装置と並列接続された場合のもので大きな雑音を示している。このように他の計器を並列接続する場合には単に検出変換器の負荷となるばかりでなく誘導雑音源となることがあるのは注意すべき点で、並列に接続される計器はその入力インピーダンス、発生雑音の双方を検討して製作すべきであり、これが無理な場合はたとえば走査時にこれらの計器を(入力2回路とも)切り離す考慮が必要となる。この場合には発生雑音がフルスケール (0~10 mV D.C.) をこえているのでリレーで指示計を切り離すようにした。第3図からわかるように検出器の内部インピーダンスにより雑音の大きさに有意差が認められるが、上述の所論から静電誘導に基づくものと推定される。この場合には配線として単心のシールド線を使用せず、多心のケーブルを使用し、ケーブルの心線全体が最外側でシールドされたものであったため、第1図の C_1 の値が大きくなったのと同様な結果を生じたものと思われる。配線を容易にするためケーブルを使用する場合には、各心線をシールドしたケーブルが計測用としては望ましい。

2.2 温度検出回路

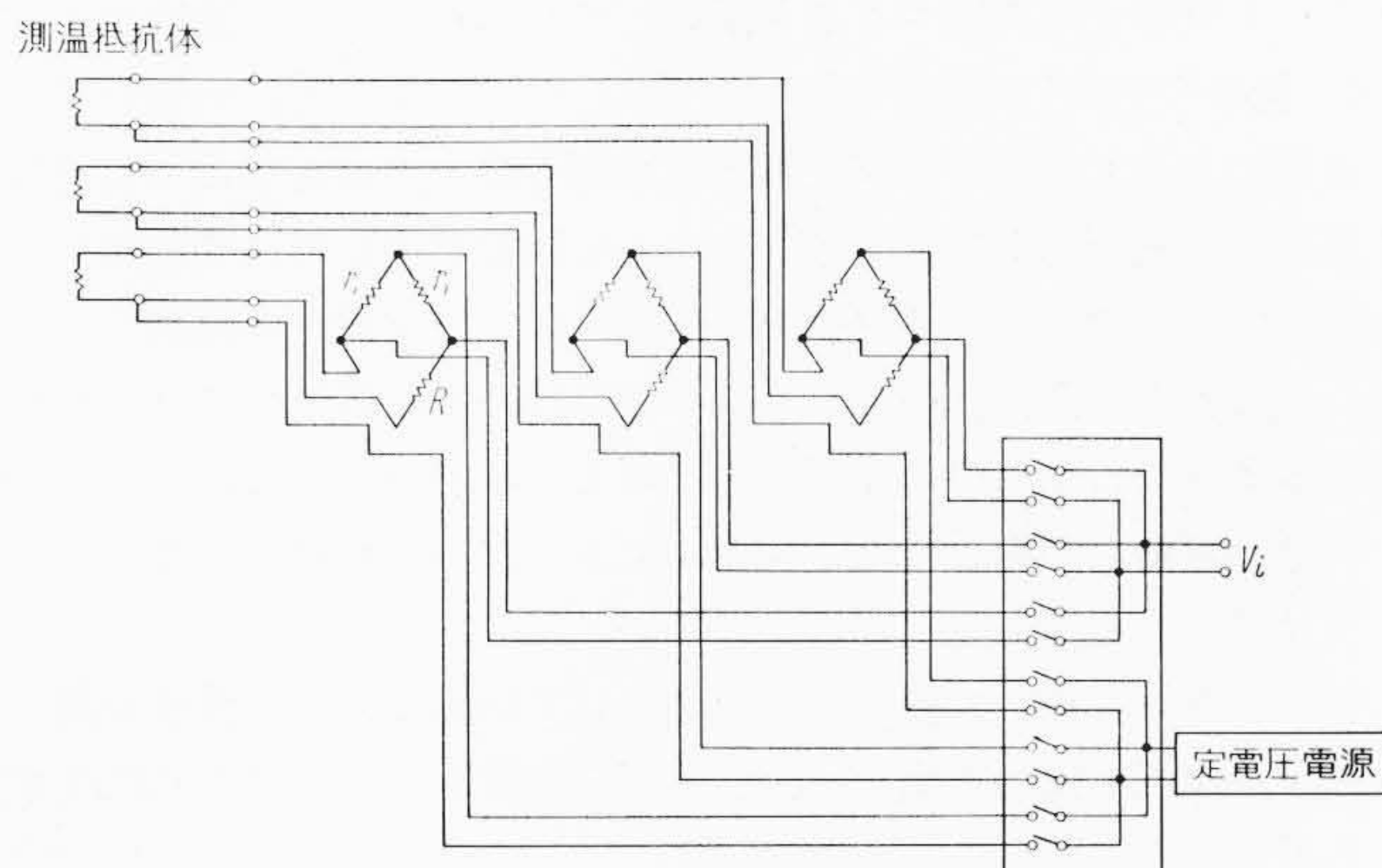
熱電対を温度検出器とする接続例を第5図に示す。補償導線の節約のために、図のように冷接点補償箱を設けて、これとスキャニング装置の入力端子の間を銅導線で接続するのが普通である。冷接点補償の方法には検出器と同一の熱電対を恒温槽に入れて行なう方法⁽²⁾もあるが、普通は図のように感熱抵抗を一边とするブリッジの偏差電圧を入力切替器の後で熱電対の起電力と直列に接続して加算を行ない、冷接点を 0°C にした場合と等しい電圧を生ずるようにしている。第6図のように補償導線の一方を冷接点補償箱の中で共通に接続するようにすれば、入力切替器が簡単になり、配線もほぼ半分で済む利点はあるが、ある熱電対に地絡などの事故が起こると他の熱電対による測定結果にまで影響を及ぼすことがあるので注意を要する。第5図には熱電対の断線検知用回路を併記した。 r_s を十



第6図 熱電対を検出器とする入力回路(2)

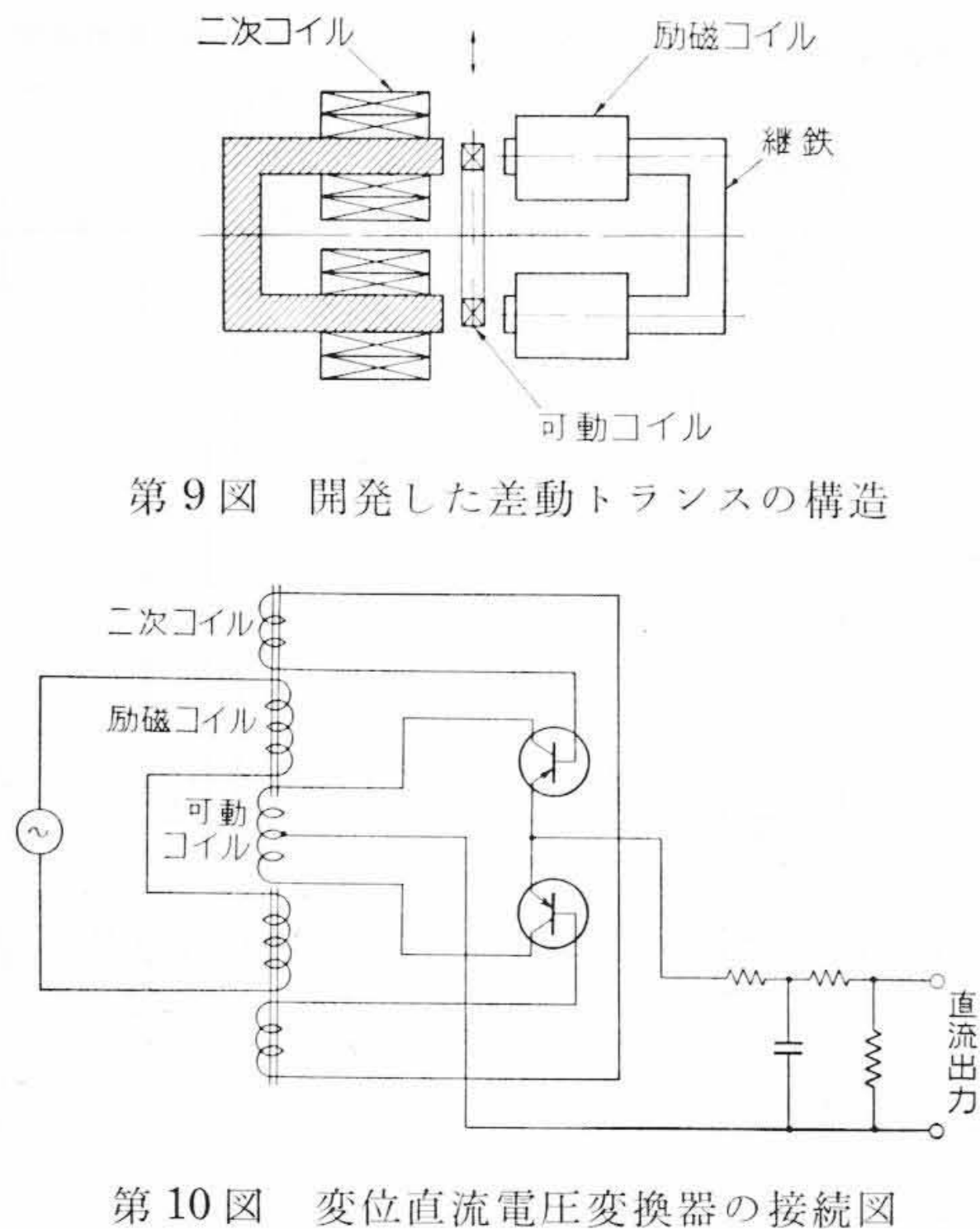


第7図 測温抵抗体を検出器とする入力回路(1)



第8図 測温抵抗体を検出器とする入力回路(2)

分大きくしておく、 V_i は回路が正常な場合にはほぼ測定電圧に等しくなるが、断線、あるいは入力切替器の接点の接触不良などの事故が発生すると、 V_i はほぼ E_s に等しくなる。 E_s を適当に選んで事故発生時には警報を発したり、スキャニング装置がプロセスの安全側に動作するようにしている。第7図は測温抵抗体を検出器とする場合の接続例である。導線抵抗の影響を少なくするためにこのように3線式配線を行なう場合が多い。ブリッジ回路の抵抗 r_i を測温抵抗体の抵抗値に比べて十分大きくし、測温抵抗体の抵抗変化にほぼ比例した電圧を得、また検出器の地絡、絶縁抵抗劣化の事故が他の点の測定結果に及ぼす影響を少なくしている。この方法では接続される検出器の数によって所要の電源容量が変化し、かなり大容量の電源を必要とするが、各検出器ごとに、これに対応した電圧出力を



第 9 図 開発した差動トランスの構造

第 10 図 変位直流電圧変換器の接続図

得ているので、スキャンング装置と並列にアナログ記録計、指示計などが接続でき、入力切替器も 2 回路で済む利点がある。並列に電圧出力を取り出す必要のない場合には、第 8 図のように 4 回路の切り替えを行なえば、所要電源容量は小さくてすみ、容量の変動もなくなる。

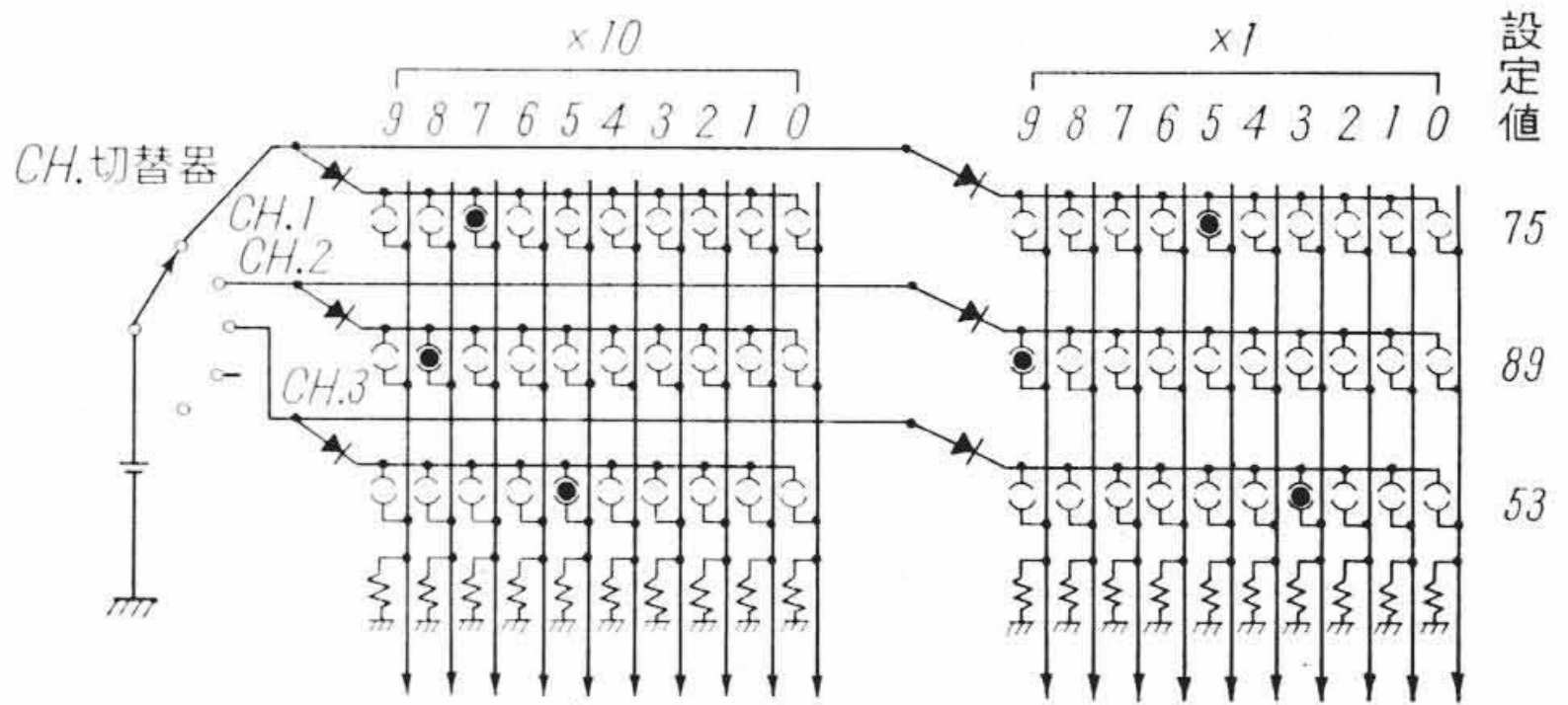
2.3 圧力検出器

スキャンング装置の入力信号は直流電圧信号を原則としているから、圧力、流量の検出変換器には、ダイヤフラム、ペローの動きを直流電流にする変位一直流電流変換器が製品化されているが、簡単なスキャンング装置用として第 9 図のような構造の差動トランスを開発した。すなわち継鉄とこれに施した巻線によって互いに逆向きでほぼ平等な交番磁界を継鉄の中央部の間げきを作り、各磁界とほぼ等しく交差する可動コイルを配置して、これを磁界と直角な方向(図の矢印の方向)に移動できるようにしたものである。可動コイルの移動によって発生する交流電圧を励磁巻線の上に施した二次巻線に発生した電圧をトランジスタによって同期整流して、変位に比例した直流電圧を得ている(第 10 図参照)。これを従来の差動トランス、すなわち、円筒状のコイルの中央に鉄心を配置してこれを移動できるようにしたものに比べると次のような利点がある。

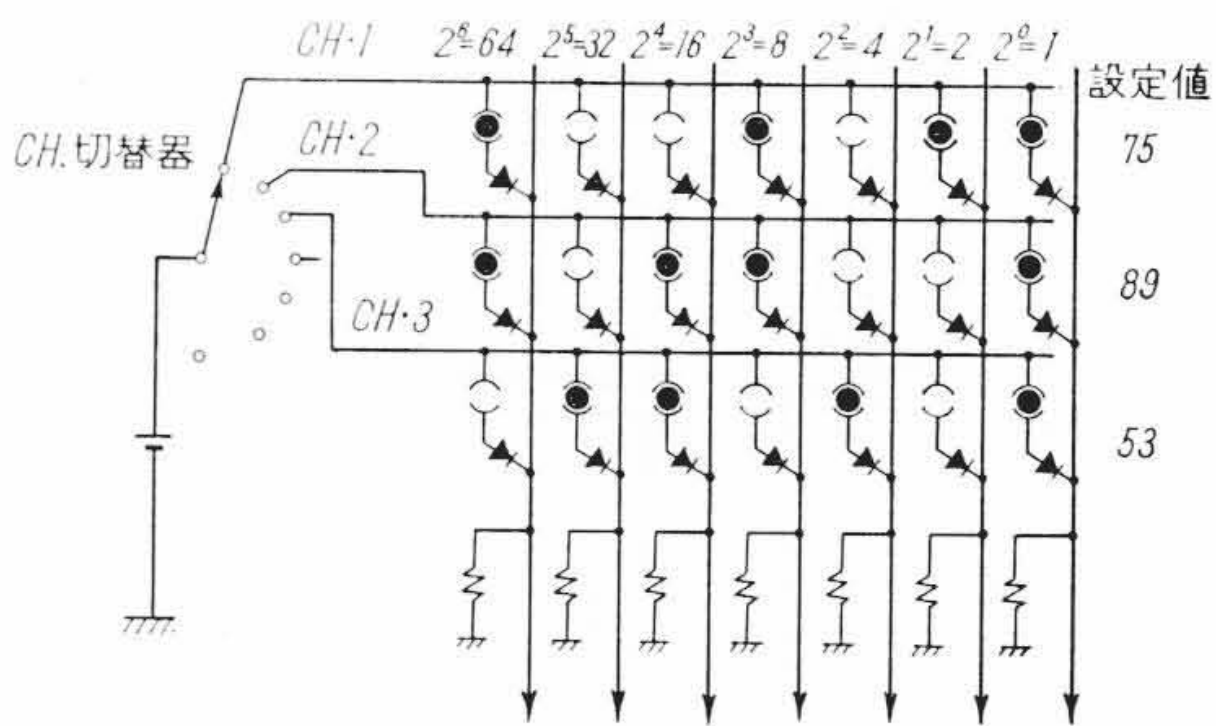
- (a) 可動部が磁心でなくコイルであるため可動部の重量が軽減できる。
- (b) 継鉄を用いて磁来密度を高くしているため動作感度が高く(2 V/mm)、出力電圧をただちに同期整流してもそのために生ずる誤差が小さい。
- (c) 励磁巻線のインダクタンスを直流抵抗に比べて大きくするのが容易で、このため (i) 出力電圧の位相推移や波形ひずみが小さく精度が高い。(ii) 励磁電流が巻線の抵抗によってあまり左右されず、したがって周囲温度の影響が小さい。

3. ピンボードプログラマ

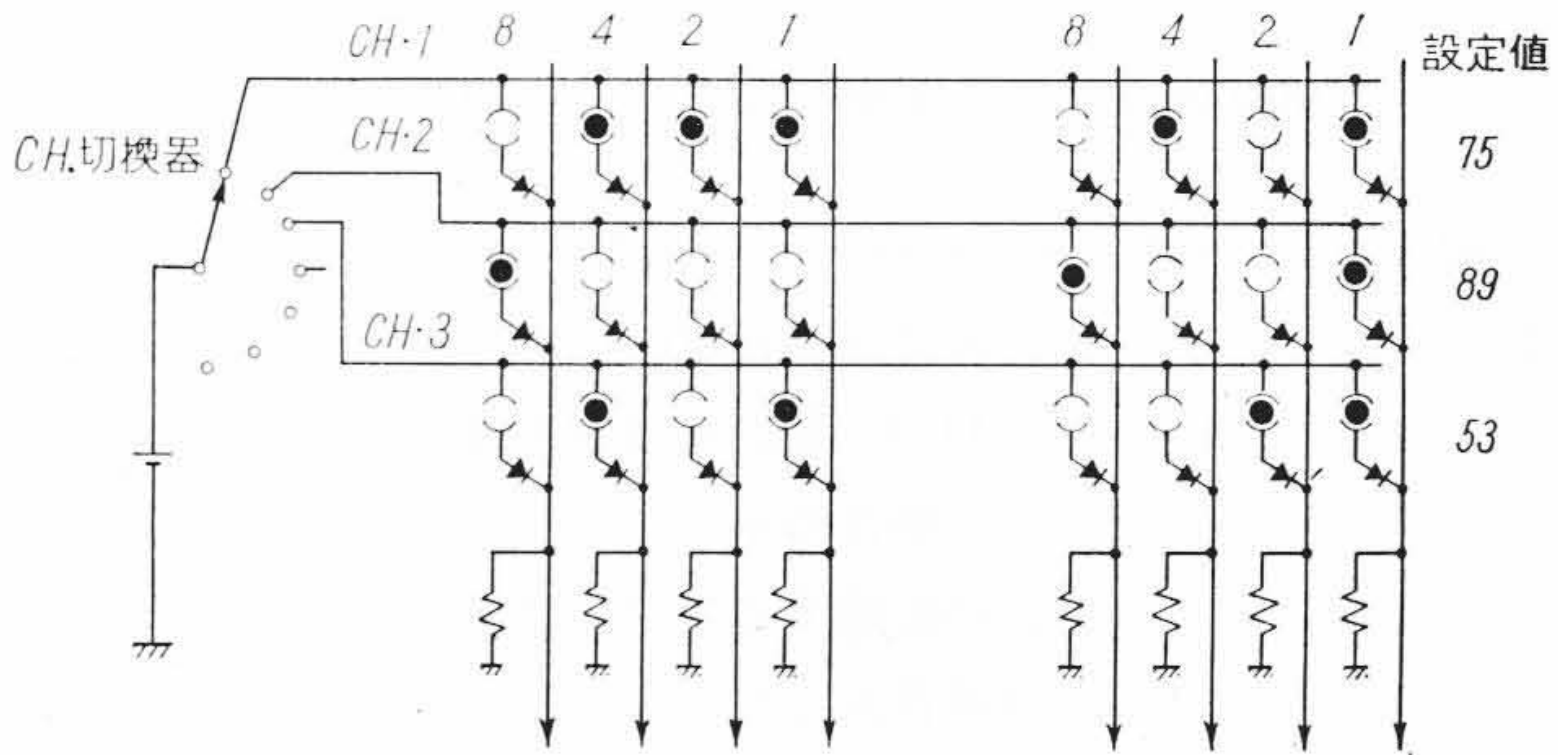
警報用の限界(上限、下限)値、小数点位置、スケールファクタ、調節目標値、比例帯その他、各測定点ごとに異なり、また運転時に変更の可能性のある部分は、ピンボード上にピンをそう入して設定し、容易に変更できるようにして、融通性と製作の際における標準化を図っている。ピンボードの縦の方向には測定点の番号を、横方向には設定内容を示している。第 11 図はピンボードプログラマによる数値設定の例を示す説明図で、図に示すように十進法による設定を行なうようにしている。図において CH 切替器(普通は入力切



第 11 図 十進法によるピンボードプログラマ (1)



第 12 図 二進法によるピンボードプログラマ



第 13 図 二進法十進法によるピンボードプログラマ

替器と同期して動作)によって横方向の配線の一つに正の電圧が加えられると、ピンによって接続された縦方向の配線に電圧が現われる。電圧の現れた線の組み合わせによって設定内容を表わすものである。現在国内で実用されているピンボードには各種のものがあり数値の設定方式にしても第 12、13 図に示すような二進法によるもの、二進法十進法によるものなどがある。二進法によるものでは設定のための穴の数は少なくすみ、装置内部で二進法を採用しらもっている装置では符号変換器が不要になるなどの利点はあるが、図が容易に分かるように所要ダイオード数が多く、直観的でないため設定がしがたく、また設定内容が見にくい欠点がある。また設定内容によって所要のピンの数が変わってくるため、ピンの紛失その他で現場使用に際して不便を感じる点が多い。二進法十進法による設定は、見やすさの点で二進法に比べて若干まざっているが、その他の点は大同小異である。十進法によるものでは穴の数の多い欠点はあるが所要ダイオードの数が少なく、見やすく、設定しやすい。1 けたの数の設定には 10 個の穴のうちのいずれかにピンがそう入されている。すなわち設定内容によってピンの数が変化しないことも特長の一つである。さらにこの点を利用して接触不良、ダイオードの断線、設定漏れなどを自動的に検知、警報するようにしている。第 14 図は検知回路の原理図であるが、このような事故が検知されたときに、その点の番号をレジスタに読みこむようにして、事故のあるピンの位置をランプの組み合わせで表示するようにしている。(第 15 図参照) 第 1 表は各方式の比較表である。ピンのそう入時における接触機構は第 11 図のような栓(せん)形の接触機構が多く使

第1表 各方式別ピンボードプログラムの比較

	純二進設定	二進化十進設定	十進設定	備 考
所要ダイオード数	$N \log_2 M$ $N(\log_2 M + 1)$	$4 N \log_{10} M$ $5 N \log_{10} M$	$N \log_{10} M$ $N \log_{10} M$	チェックなし チェックあり
およびその数 値例	900 1,000	1,200 1,500	300 300	チェックなし チェックあり
最大所要ピン 数	$N \log_2 M$ $N(\log_2 M + 1)$	$3 N \log_{10} M$ $3 N \log_{10} M$ $4 N \log_{10} M$	$N \log_{10} M$ $N \log_{10} M$	チェックなし チェックあり
およびその数 値例	900 900*2) 1,000*3)	900 900*2) 1,200*3)	300 300	チェックなし チェックあり
設定穴数	$N \log_2 M$ $N(\log_2 M + 1)$	$4 N \log_{10} M$ $5 N \log_{10} M$	$9 N \log_{10} M$ $10 N \log_{10} M$	チェックなし チェックあり
およびその数 値例	900 1,000	1,200 1,500	2,700 3,000	チェックなし チェックあり
設定内容による ピン数の変化	あ り	あ り	な し	
チェックの方法	パリティチェック	パリティチェック	ORチェック*5	

N: 測定点(チャンネル)数

M: 設定内容の種類(数)

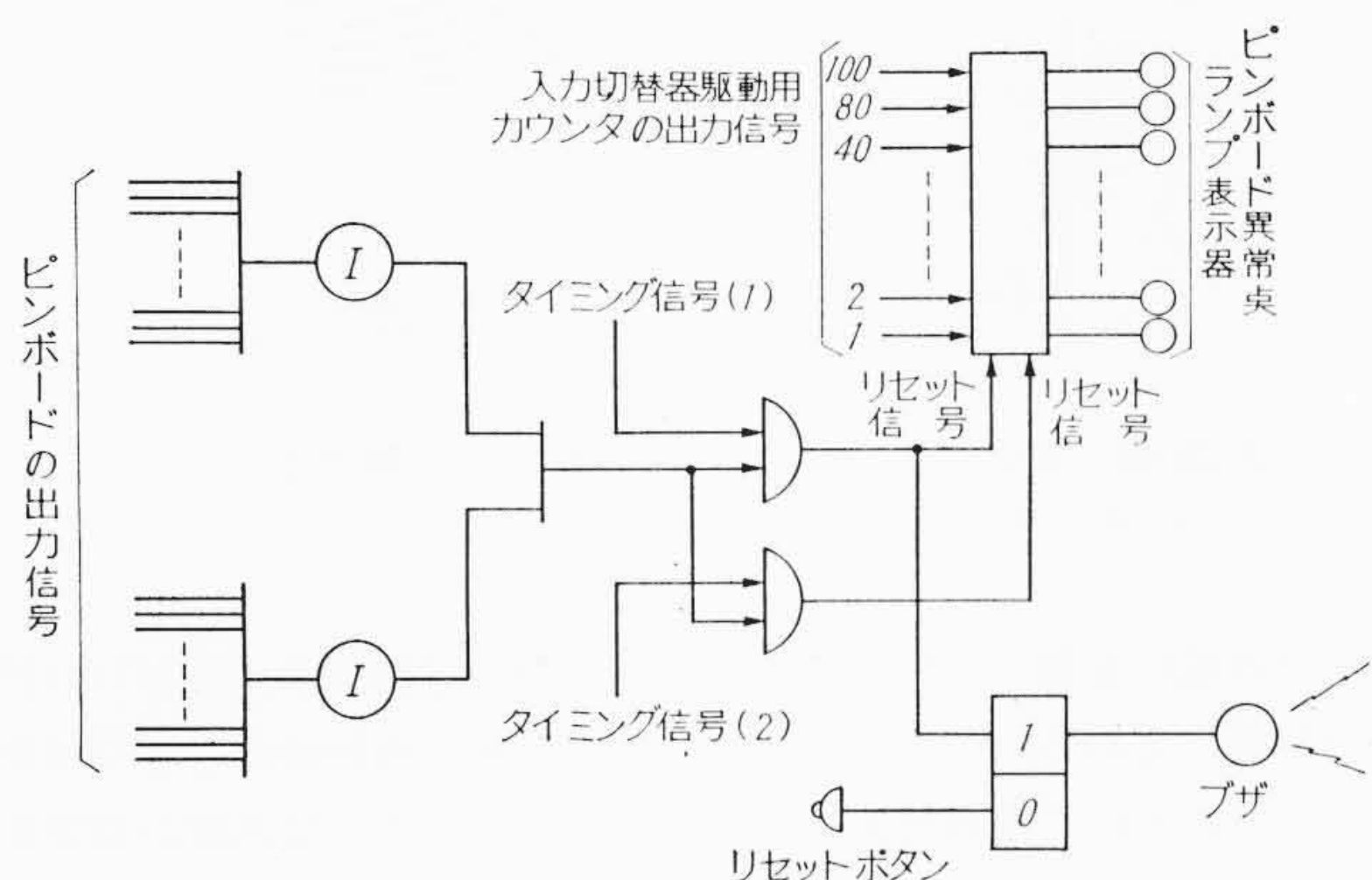
*1: $N=100$ $M=1,000$ として計算

*2: 奇数チェック

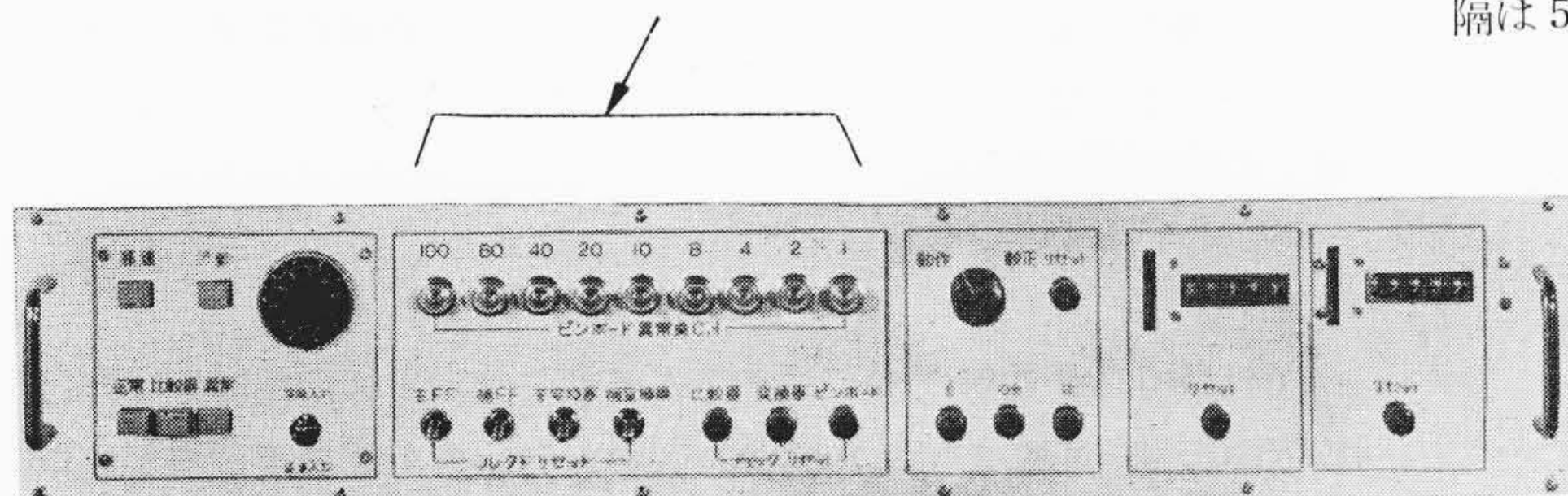
*3: 偶数チェック

*4: または $N \log_2 M$

*5: 仮 称

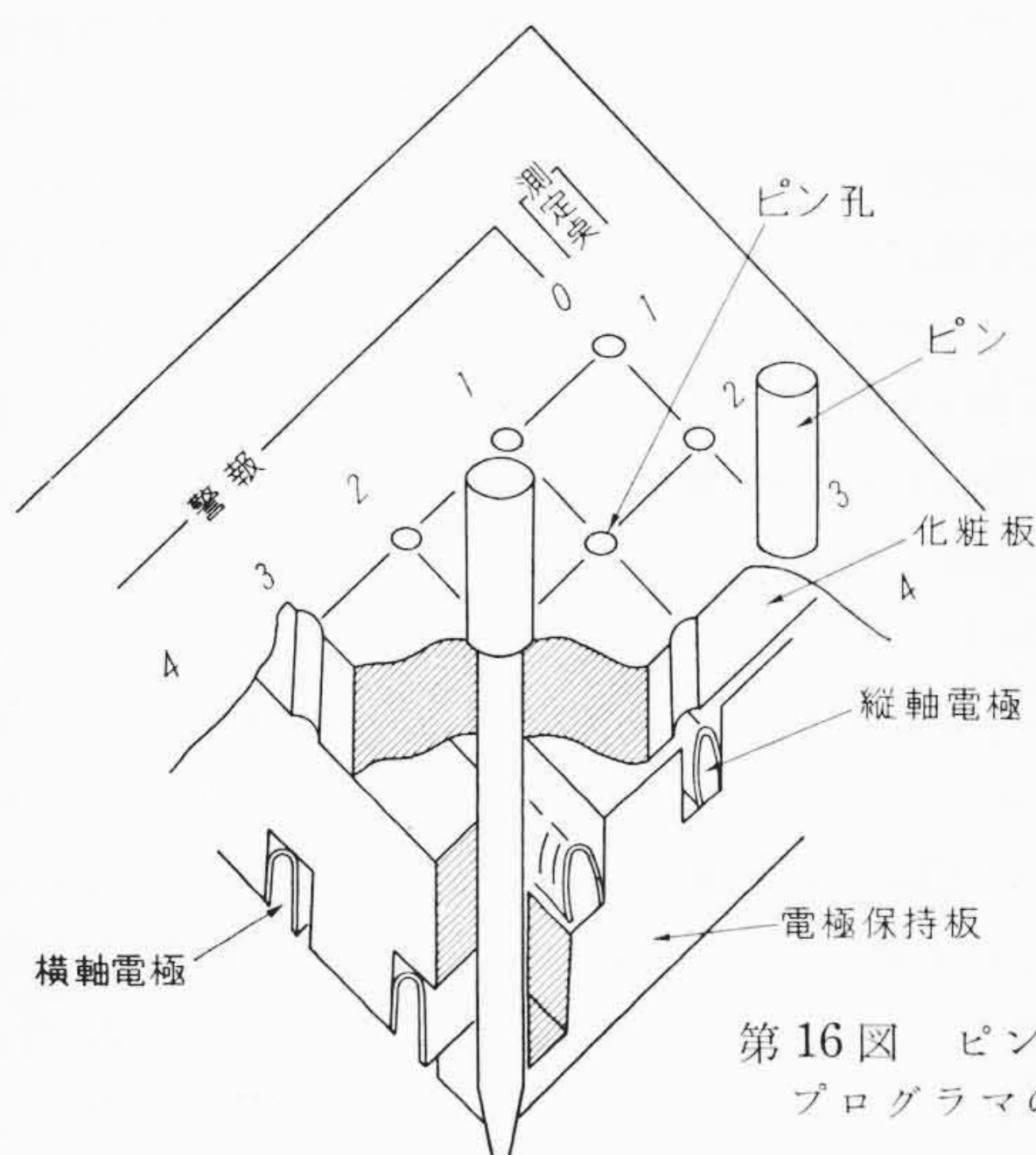


第14図 ピンボードプログラムの接触不良検知機構

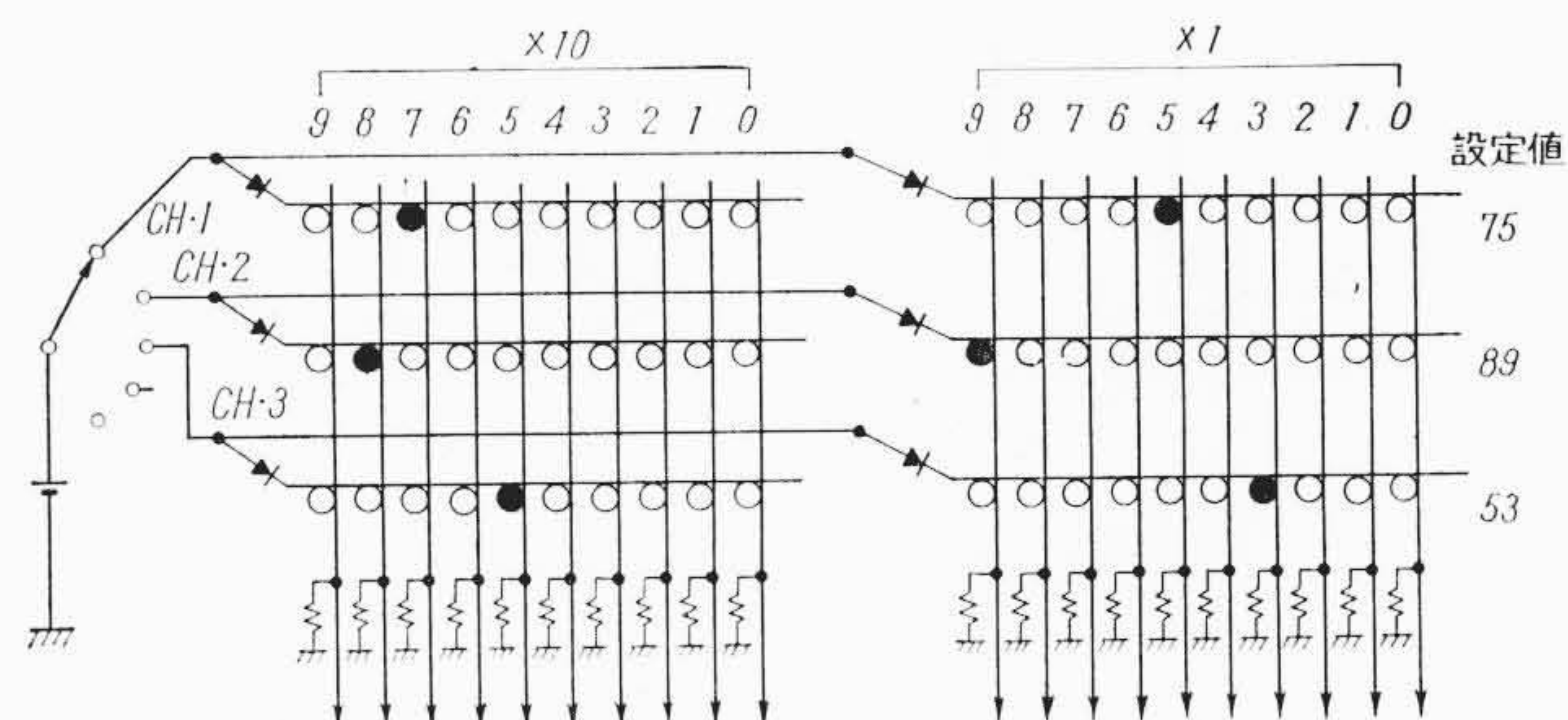


8個のランプの組み合わせで接触不良の位置がわかる (矢印)

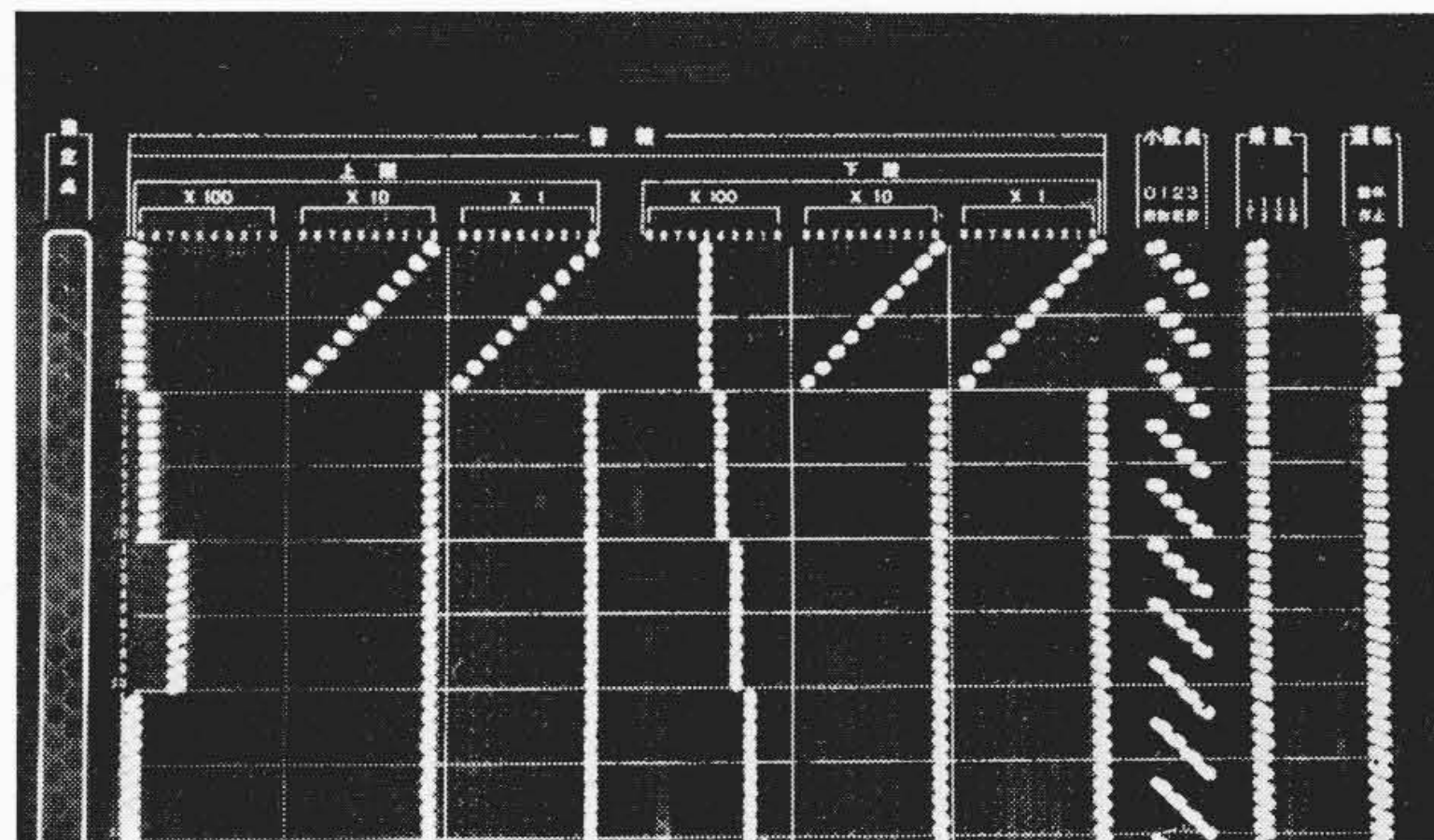
第15図 ピンボードの接触不良表示器



第16図 ピンボードプログラムの構造



第17図 十進法によるピンボードプログラマ (2)



第18図 ピンボードプログラマ外観

用されている。しかしピンボードによる設定をデジタル量のみ
に限定することにすればもっと簡単な機構でもよく、第16図のよ
うなものを開発した。すなわちバネ材でできた、とい状の電極を互に直
角に絶縁して配置し、これらの交点の所に穴を設けて、ピンのそう入
によって二つの電極が接続される。第17図はこの構造を配線図の
上で図示したものである。これらの図からわかるように構造が著し
く簡単で配線の手間が省け、形状も小形化できるようになり、穴の間
隔は5mmを標準にしている。

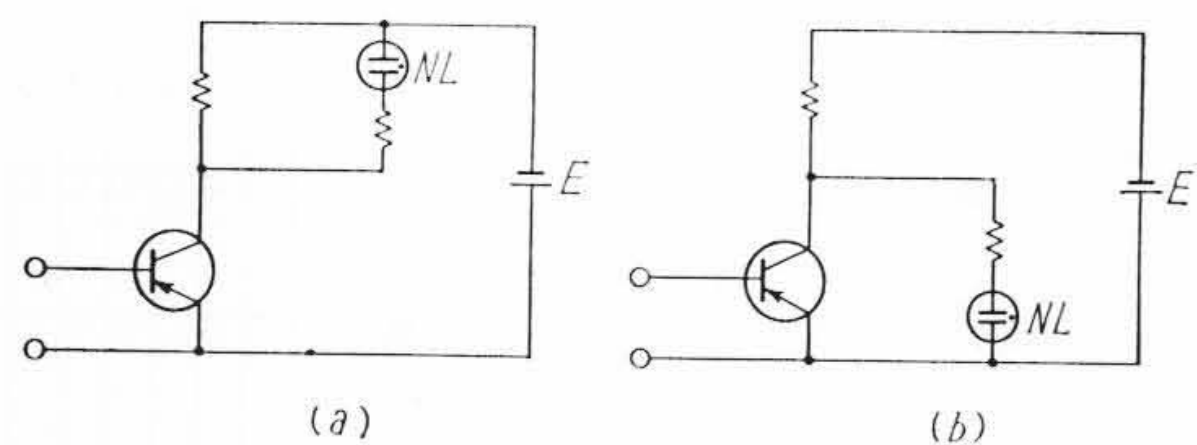
4. ネオン管表示器

スキャニング装置では異常点の表示、測定点の表示など
多数のランプを使用している。従来この種の用途には白熱
ランプが多く使用されているが、筆者らはネオンランプを
使用するようにした。ネオンランプを使用する場合の利点
として

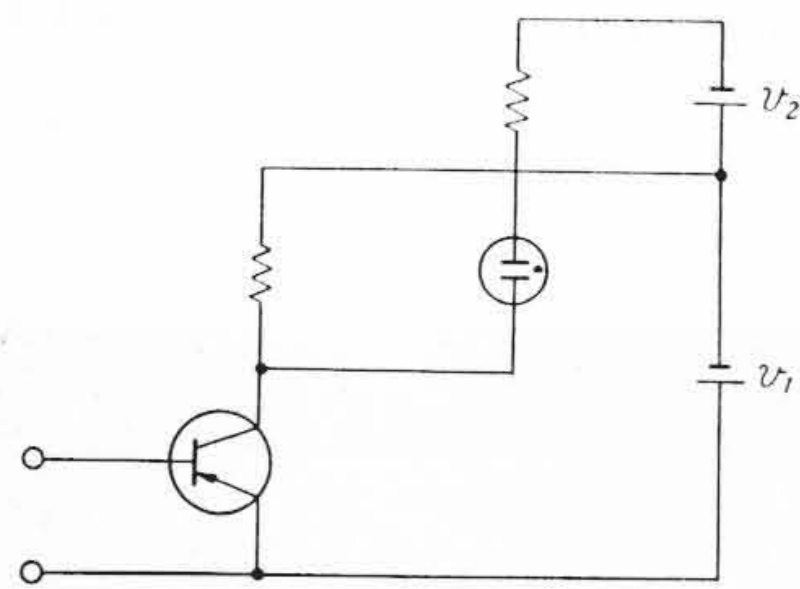
- (i) フイラメントがなく断線のおそれがない。
- (ii) 消費電力が少なく、トランジスタによる点滅制御が容易に
なる。
- (iii) 以下に述べる方法によって特性劣化に基づく不点灯事故を
未然に発見、防止できる。

などがあげられる。

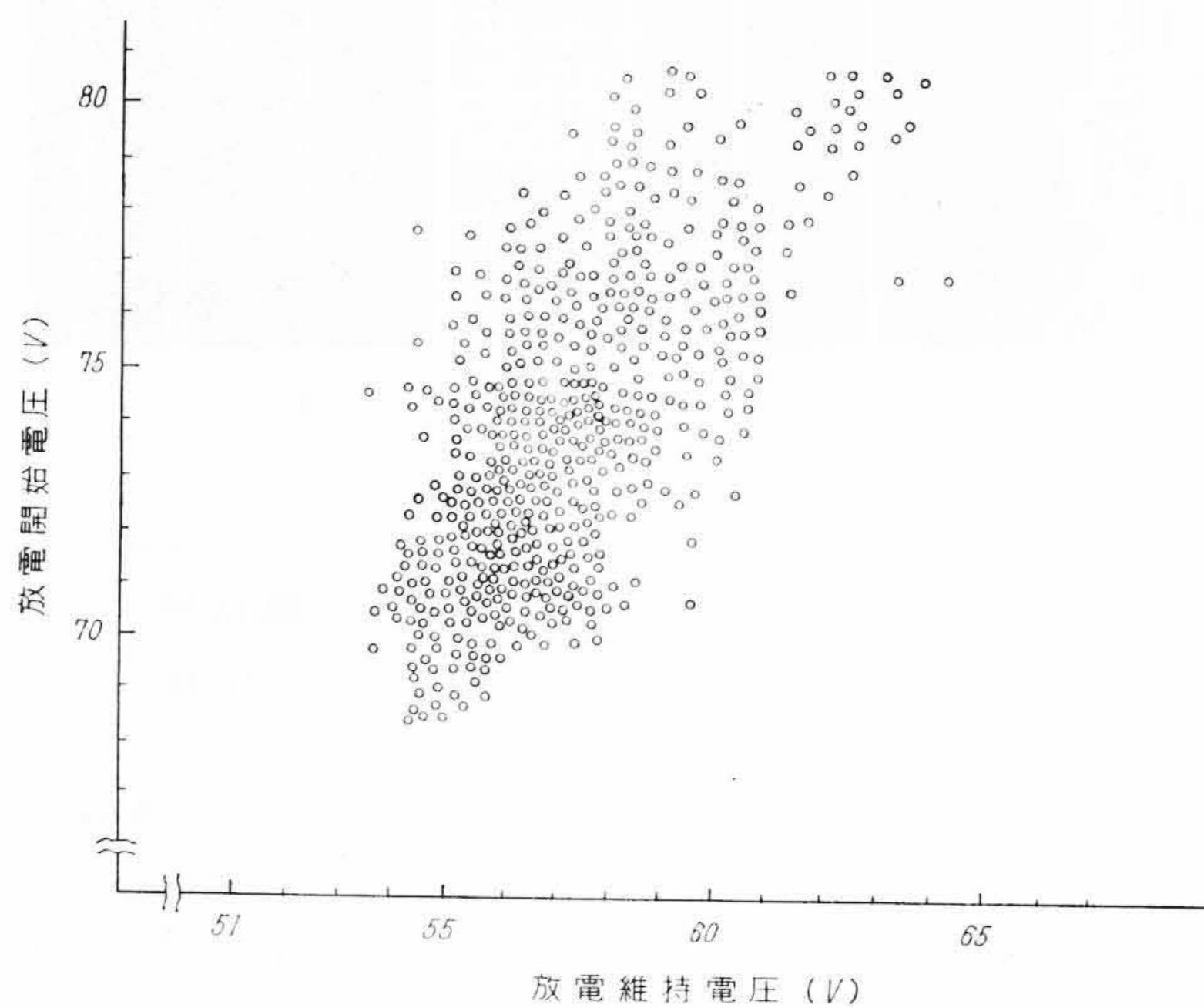
ネオンランプの点滅制御回路として第19図の回路は最も簡単で
あるが、この方法ではトランジスタの耐圧としてネオンランプの放
電開始電圧以上のものが必要となる。ネオンランプの点滅を制御す
るには放電開始電圧と放電維持電圧の差に相当する電圧変化があれ
ばよいことから、第20図の回路が考えられる。図において v_2 を放電
維持電圧に、 v_1+v_2 を放電開始電圧に等しくすればランプの点滅制
御が可能となる。この場合にはトランジスタの耐圧は、 v_1 すなわち、
放電開始電圧と放電維持電圧の差だけでよいことになる。第21図
は500個のランプの放電電圧を実測した例である。第22図のよう
に v_2 のほかにP.G.を接続してパルスを重ね合わせると v_1 の値は
さらに小さくてすむ、第23図はこれをわかりやすく図示したもの



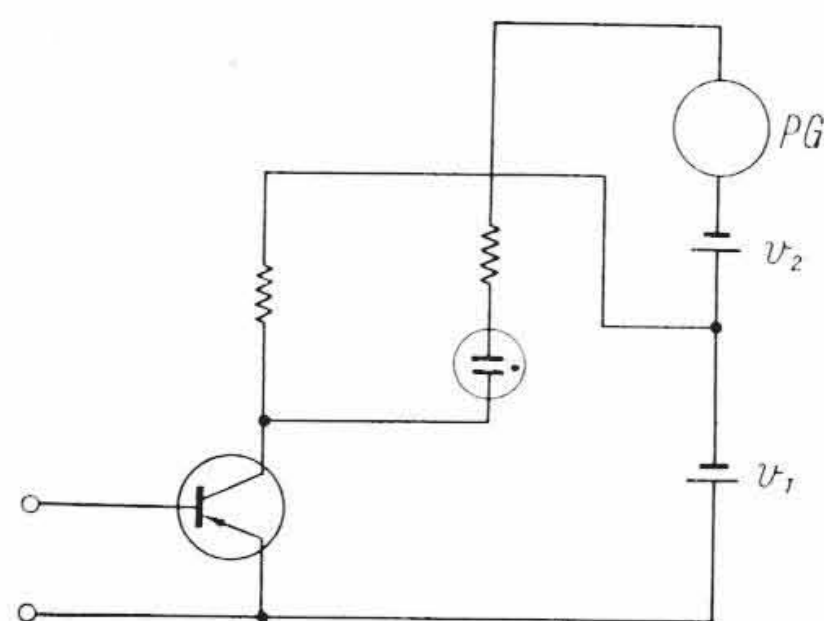
第 19 図 ネオンランプ点灯回路 (1)



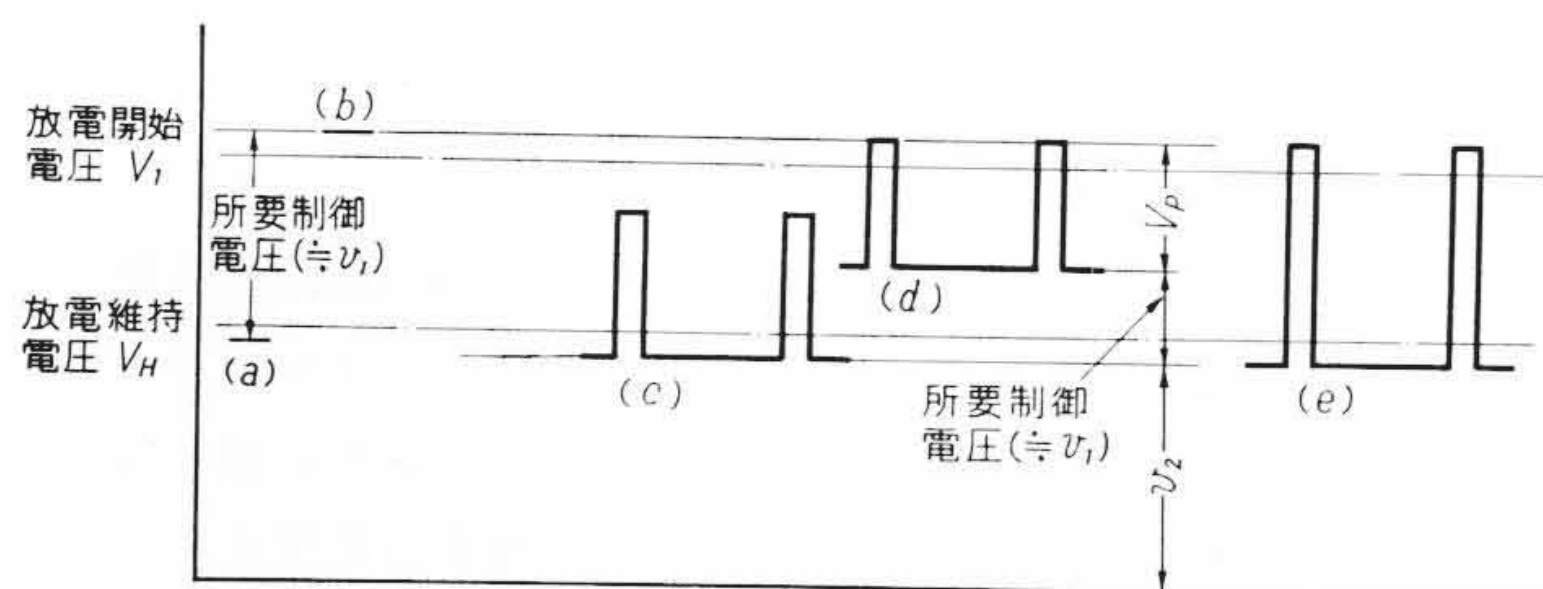
第 20 図 ネオンランプ点灯回路 (2)



第 21 図 ネオンランプ点灯特性の分布

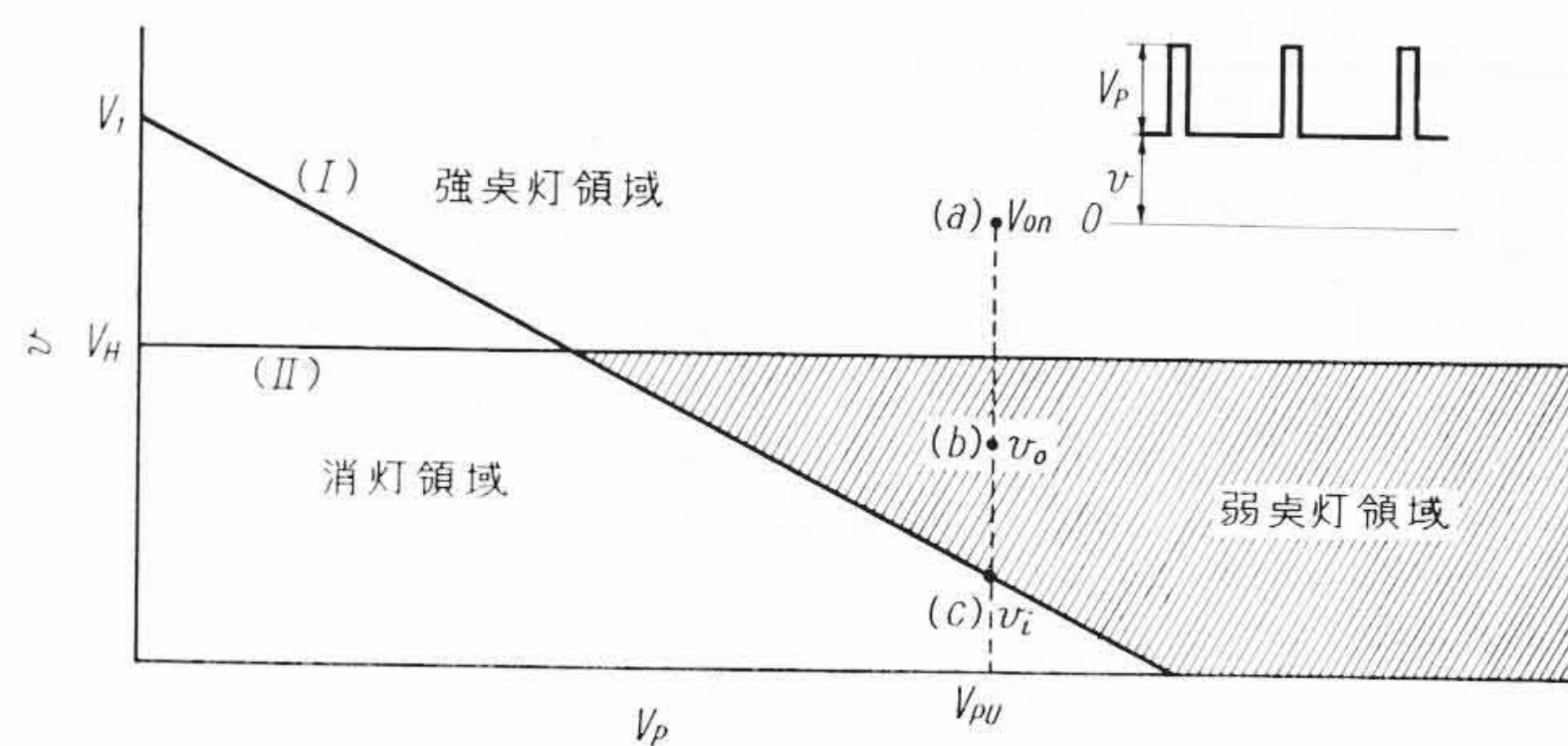
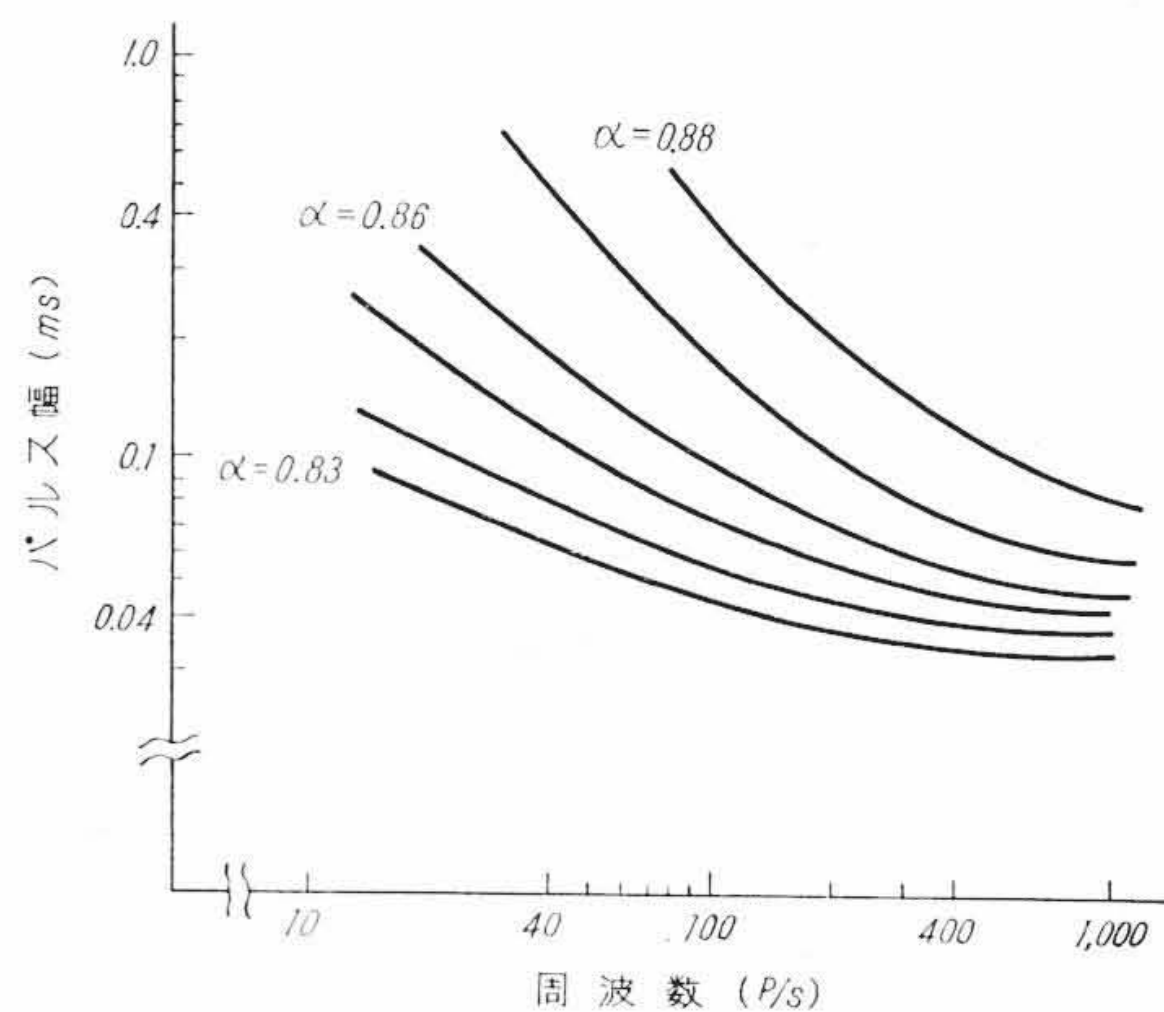


第 22 図 ネオンランプ点灯回路 (3)



第 23 図 ネオンランプ点灯動作図

である。図の (a), (b) はパルスのない状態で (a) はランプに加わる電圧が放電維持電圧よりも小さいからランプは消灯している。(b) は放電開始電圧よりも大きい電圧が加わっているから点灯している。したがって点滅の制御には少なくとも放電開始電圧 V_I と放電維持電圧 V_H の差 $V_I - V_H$ の電圧変化が必要である。 V_I と V_H

第 24 図 パルスを重ね合わせた場合の
ネオンランプ点灯特性第 25 図 重ね合わせるパルスと繰り返し周波数による
(5) 式の α の変化

の中間の電圧を加えた場合にはそれ以前の(点灯あるいは消灯)の状態を持続している。(c), (d) はパルスを加え合わせたときの状態で, (c) においては最高値が放電開始電圧以下で, 最低値が放電維持電圧以下であるため消灯している。(d) の状態では最高値が放電開始電圧以上で, 最低値が放電維持電圧以上にあるためにランプは点灯状態にある。パルスのない状態に比べて, 点滅の制御に必要な電圧は小さくなっており, パルス電圧を V_p とすると, 制御に必要な最小の電圧 V_1 は

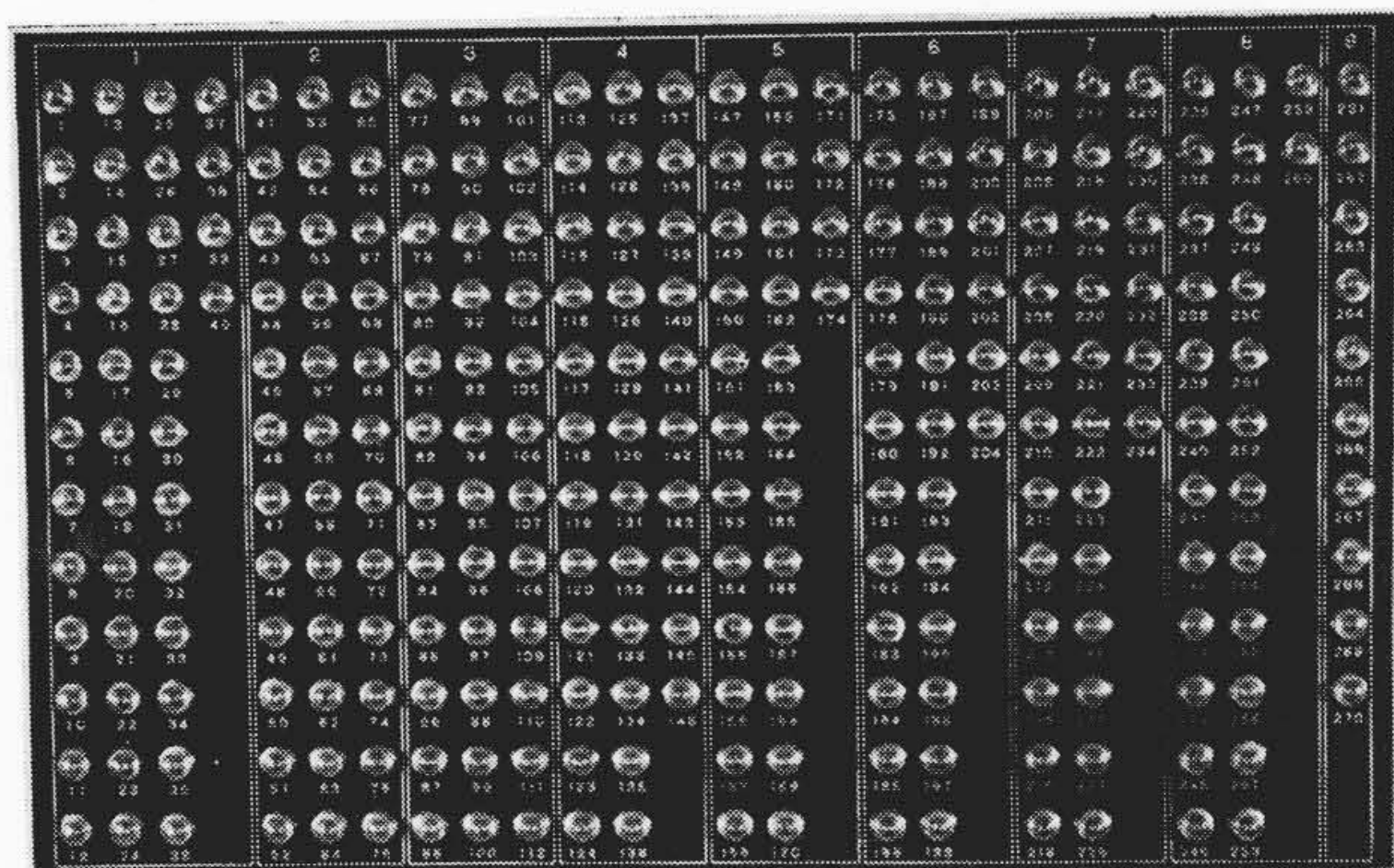
$$V_1 = V_I - V_H \dots \dots \dots (4)$$

となる。

図の (e) の状態ではパルス電圧が大きく, パルス電圧のある間は放電開始電圧をこえており, パルスのない状態では放電維持電圧以下であるため, ネオンランプはパルスのある間だけ点灯する。これを目で見た場合にうすく点灯しているように見えることから弱点灯状態と呼んでいる。(これに対して第 23 図, (b), (d) の状態を強点灯と呼んでいる。) 弱点灯状態に対する要望事項として, 強点灯状態または消灯状態との識別が容易であることがあげられる。これに対して光度を強点灯時の 1/100 程度にし, かすかにちらつきを生ずるようにパルス周波数を選んでいる。筆者らの経験ではパルス繰返し周波数が 20 c/s 程度からちらつきを感じはじめる。以上述べた様子をグラフ表示したのが第 24 図である。図中の直線 (I) はパルスの幅および繰返し周波数によって変化し, 一般に

$$V = V_I - \alpha V_p \dots \dots \dots (5)$$

として表わせるようである。式中の α はパルス幅が十分大きく, 繰返し周波数が十分低い場合に 1 になることは容易にわかるが, そのほかの場合の実験結果を第 25 図に示す。重ね合わせるパルスの高さを V_{pu} として使用する場合のネオンランプの動作点は図の (a) 点と (b) 点で示される。(a) 点では強点灯, (b) 点では弱点灯を行なう。ネオンランプの放電電圧は, 一般に使用時間とともに大きい方向に移動することが寿命試験によって明らかになったが, こ



第 26 図 ネオンランプを使用した異常点表示器

のことはネオンランプの個々のバラツキとも関係があるようである。第 21 図にみられるように放電開始電圧の高いものは放電維持電圧も高い。このようにネオンランプの特性変化が、放電電圧、放電維持電圧ともに高い方向に移動することを仮定すると、弱点灯を利用してランプの特性劣化を検知し、これに基づく事故を未然に防ぐことができる。第 24 図において

$$V_{on} - V_H = V_{off} - v_i (= V_i - \alpha V_{pu}) \dots\dots\dots (6)$$

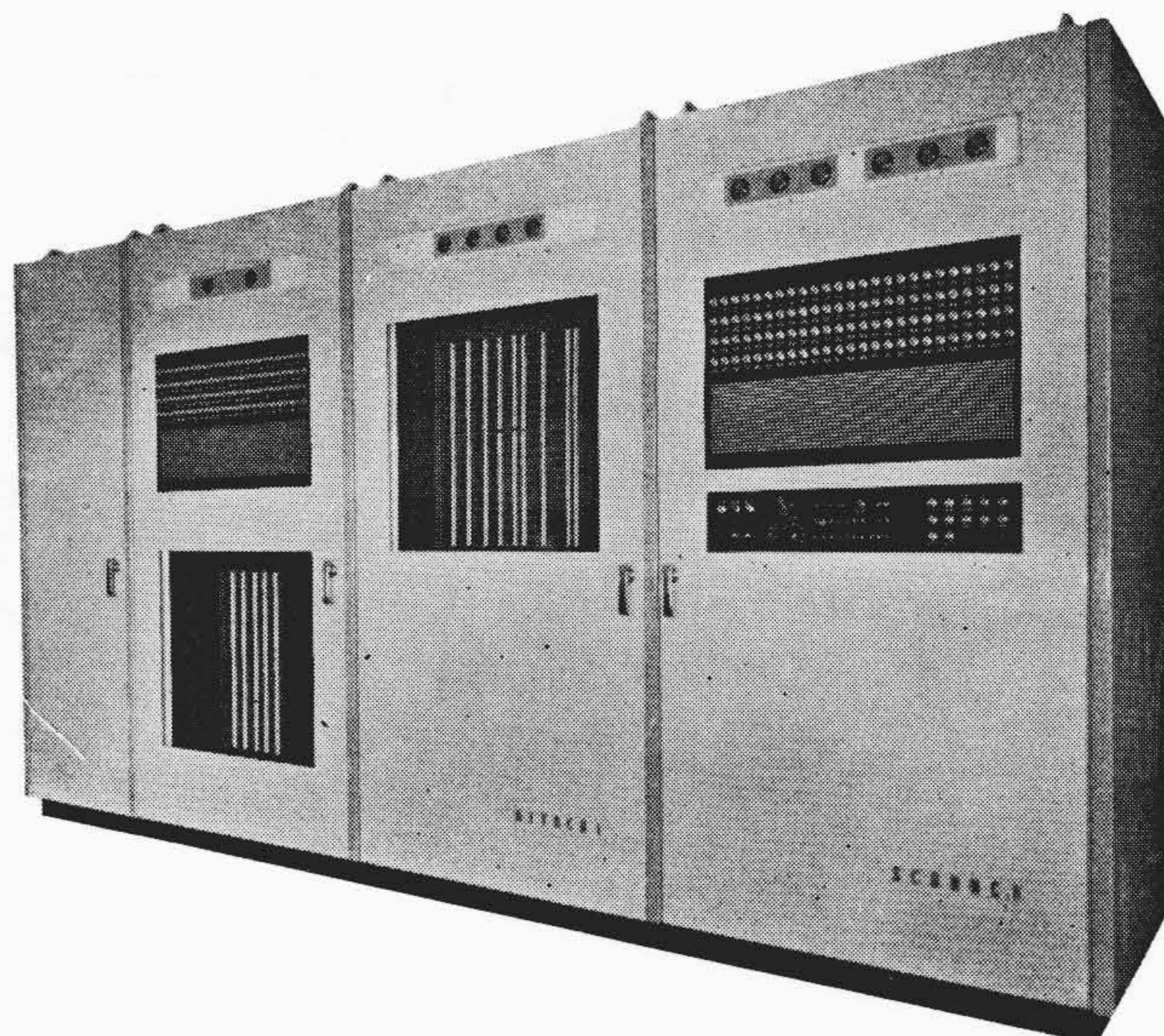
とすると、 V_i と V_H が同じ量だけ変化するものとすれば、 V_H が変化して V_{no} に等しくなれば、同時に V_i と V_{off} も等しくなる。つまり V_{on} で強点灯しなくなったときには V_{off} で弱点灯を行なわず消灯してしまう。したがって V_{off} のときにランプが弱点灯しているかどうかによって、 V_{on} のときに強点灯するかどうか、実際に強点灯してみなくてもわかる。

$$V_{on} - V_H > V_{off} - v_i \dots\dots\dots (7)$$

となるようにしておけば、強点灯が不能となる以前に、弱点灯しなくなるために、弱点灯しないランプを交換することにより、ランプ変化に基づく事故を未然に防止することができる。実際問題として、特に多数のランプを使用する場合には、ランプの特性にバラツキがあり、 V_H と V_2 の変化が同じになるとは限らないので、設計上の取り扱いが複雑になるが、基本的な考え方には変わりがない。

パルス電圧を重さね合わせる方法によれば、

- (i) ランプの点滅の制御に要する電圧がわずかになり、普通のトランジスタ回路に容易に付加できる。



第 27 図 SCD-100 形スキャニング装置外観

- (ii) 弱点灯の有無によって、点灯不能の事故を未然に発見、防止できる。
(iii) 弱点灯時の光色にバラツキを生じない。
などの利点がある。

5. 結 言

以上スキャニング装置の入力回路、誘導雑音、ピンボードプログラマ、ネオン管表示器などについて報告した。

しかし誘導雑音、信頼度などについては具体的な個々の場合によって状況が異なってくるので、一般的な議論はむずかしく、十分な資料もそろっていない状況であり、今後さらに、この点を検討したいと考えている。スキャニング装置のさらに他の部分や機能、たとえば演算器、A-D変換器、制御器などの詳細は、紙数のつごうで割愛したが、機会を改めて報告したい。

参 考 文 献

- (1) 木村、伊藤：日立評論、別冊 44, 30 (昭 36-9)
(2) R. I. Ostler and J. M. Tyrrell: Journal of British I. R. E. Vol. 23, No. 2, 83



特 許 第 298692 号 (特公昭 36-21792)

特 許 の 紹 介



孤 田 孜

電 子 顕 微 鏡

電子顕微鏡において、鏡体内に装着された試料を加熱してその試料の高温における状態を観察することは一般に行なわれている。この際試料を加熱する手段としては従来から、たとえば直接試料に照射電子流を衝撃することによって試料温度を上昇させる方法などがある。ところがこの電子線照射による方法は試料の大きさおよび試料保持の条件によって照射電子流が一定の場合でも、温度は一定であるとは限らず、また温度測定および制御が容易でない欠点がある。

この発明はこのような欠点を改良したもので、熱的に絶縁した試料保持筒と、この温度を検出する手段と、これを照射する電子流を制御する手段とを設けて、検出温度の変動に応じて照射電子流を制御し、試料の加熱温度を所要の温度に安定に保持することにより試料の高温状態を正確に観察することができる。

(永田)

