

トランジスタ特性自動測定装置

Automatic Transistor Characteristics Measuring Logger

井 原 廣 一* 山 田 清*
Hirokazu Ihara Kiyoshi Yamada

内 容 梗 概

近年、電子装置は急速に大形化し複雑になっている。これにしたがって装置の信頼性が大きくとりあげられている。しかしながら、その構成要素たる半導体部品について実用条件における信頼性を大量な試料について求めたデータは少なく、十分に解明されていない。

本稿では、このような研究を促進するわが国最初のトランジスタ特性自動測定装置について述べる。

1. 緒 言

トランジスタ、ダイオードなど電子部品の小形化、高性能化とともに時代の要求に従って、これらの集合体である装置はますます複雑で大規模となり、部品の信頼性について、各方面で議論されている。

しかしながら、トランジスタ、ダイオードの実用条件における信頼性については、その基礎となるデータが乏しく、装置を設計する場合どの辺に設計基準をおくか問題であり、また、故障の程度をどのように見積るかは、直接、間接にシステム構成に影響を与え、その装置の利用者としても利用率、保守費などに直接影響を与えるものとして、重大な関心事である。また、別の面から見ると、装置の大規模化にともない、部品の多量生産、多量使用が行なわれるので装置として組み立てる前に、部品としての特性、性能を1個1個について知っておく必要があり、多くのパラメータにつき試験するのは不可能ともいえるので、この方面からも試験の自動化が要請されるのである。

今回、電信電話公社電気通信研究所に納入されたトランジスタ特性自動測定装置は、以上述べた時代の要求から生まれたもので、わが国では最初のもの、外国でも数社が製造しているのみの画期的な新製品である。設計、製作に際しては、研究所、半導体メーカー、ユーザーの各所で使用できるよう考慮し、研究所においては信頼性の研究、半導体メーカーにおいては製品の検査および検査表作製、半導体ユーザーでは、受入検査、設計基準の作成などに有効に利用され、電子装置の信頼性向上に寄与することが期待される。

2. 概 要

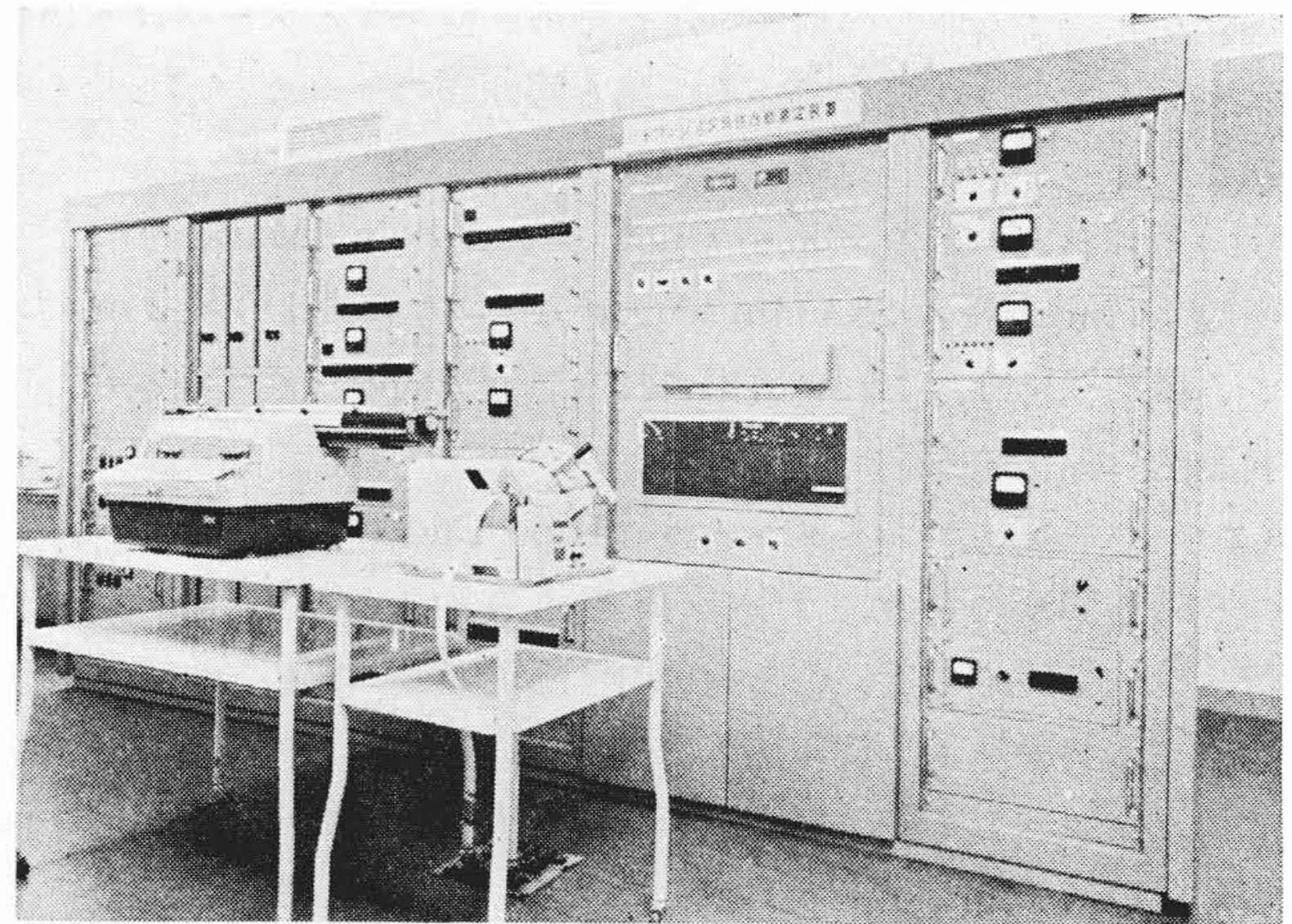
本装置はトランジスタ特性自動測定装置と被測定トランジスタを一定の試験条件で試験する架台よりなっているが、以下、前者についてのみ述べる。第1,2図におおのの外観を示す。

寿命試験架で試験を行なっているトランジスタを抜き取り、入力走査部にそう入して、任意時刻に操作押ボタンスイッチを押すことによって、あらかじめ設定した電圧、電流および測定順序で自動的に測定し、その結果をプリンタ、さん孔機で印字およびさん孔する。測定過程で異常が発生すれば、異常箇所を表示し、警報を発して停止し、被測定品を破壊しないよう考慮されている。第3図にブロック線図を示す。

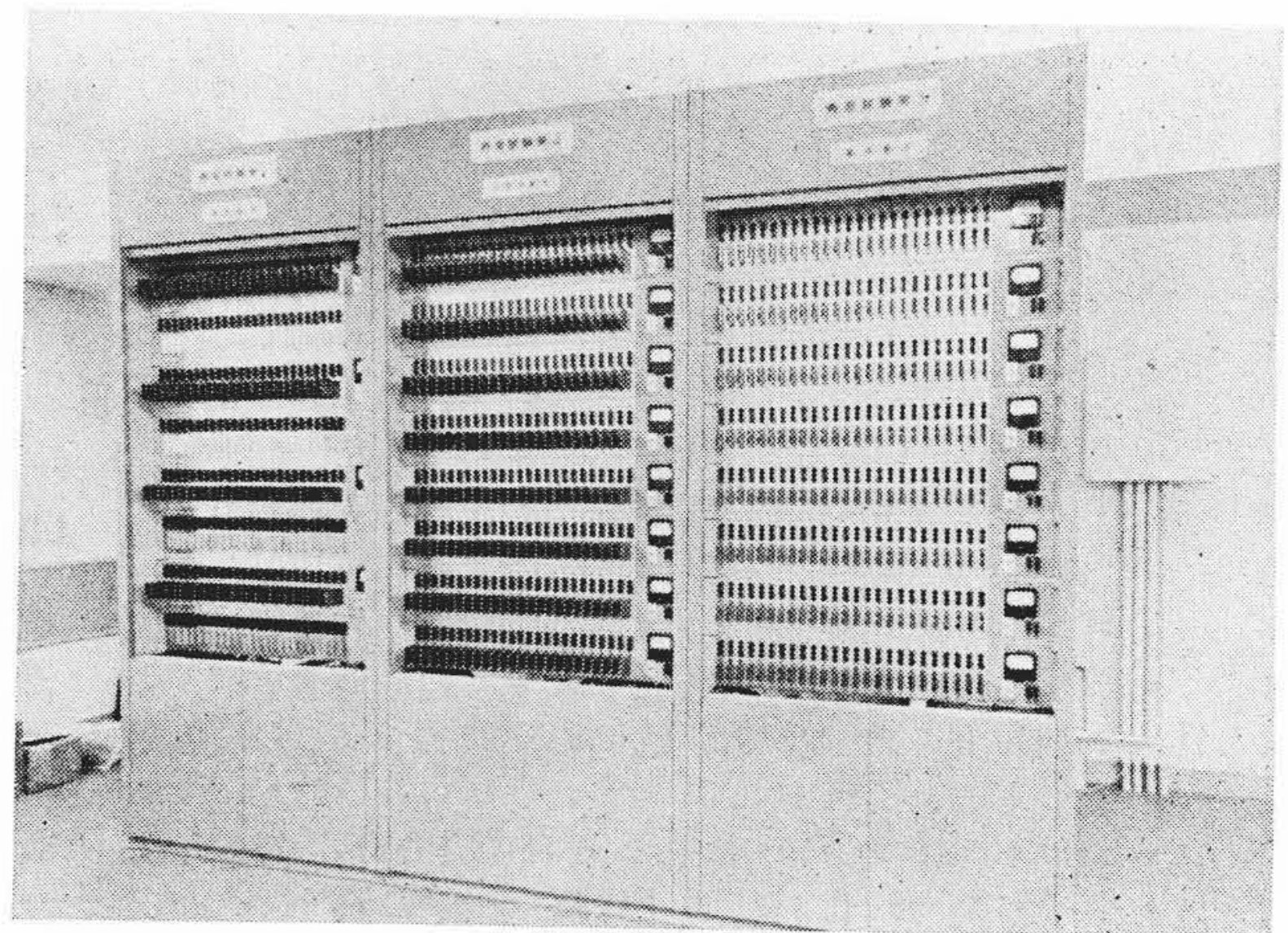
測定項目は下記7項目である。

- (1) I_{CBO} (コレクタ漏れ電流)
- (2) I_{EBO} (エミッタ漏れ電流)
- (3) V_{CBO} (コレクタ・ベース逆耐電圧)

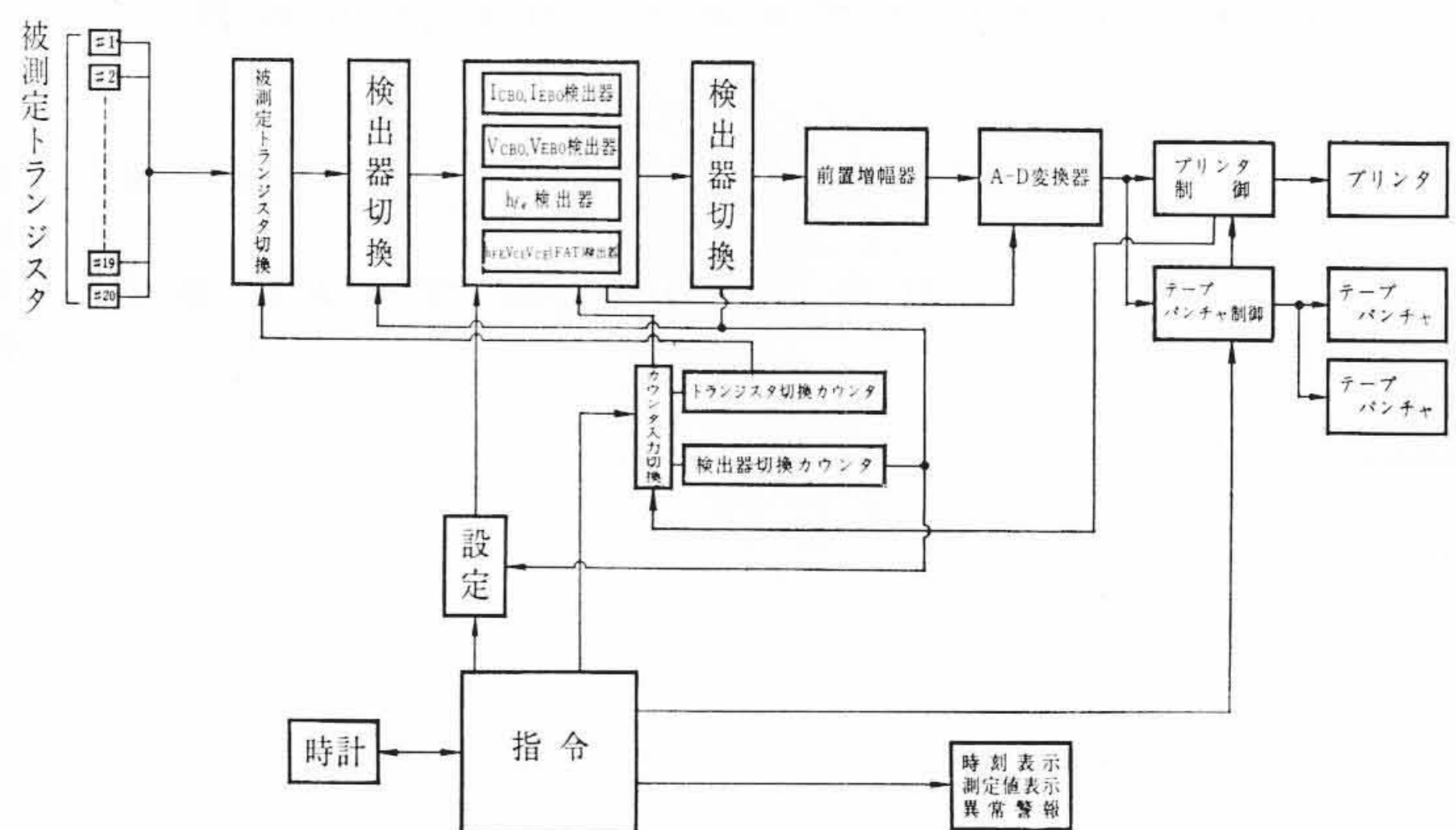
* 日立製作所日立工場



第1図 トランジスタ特性自動測定装置



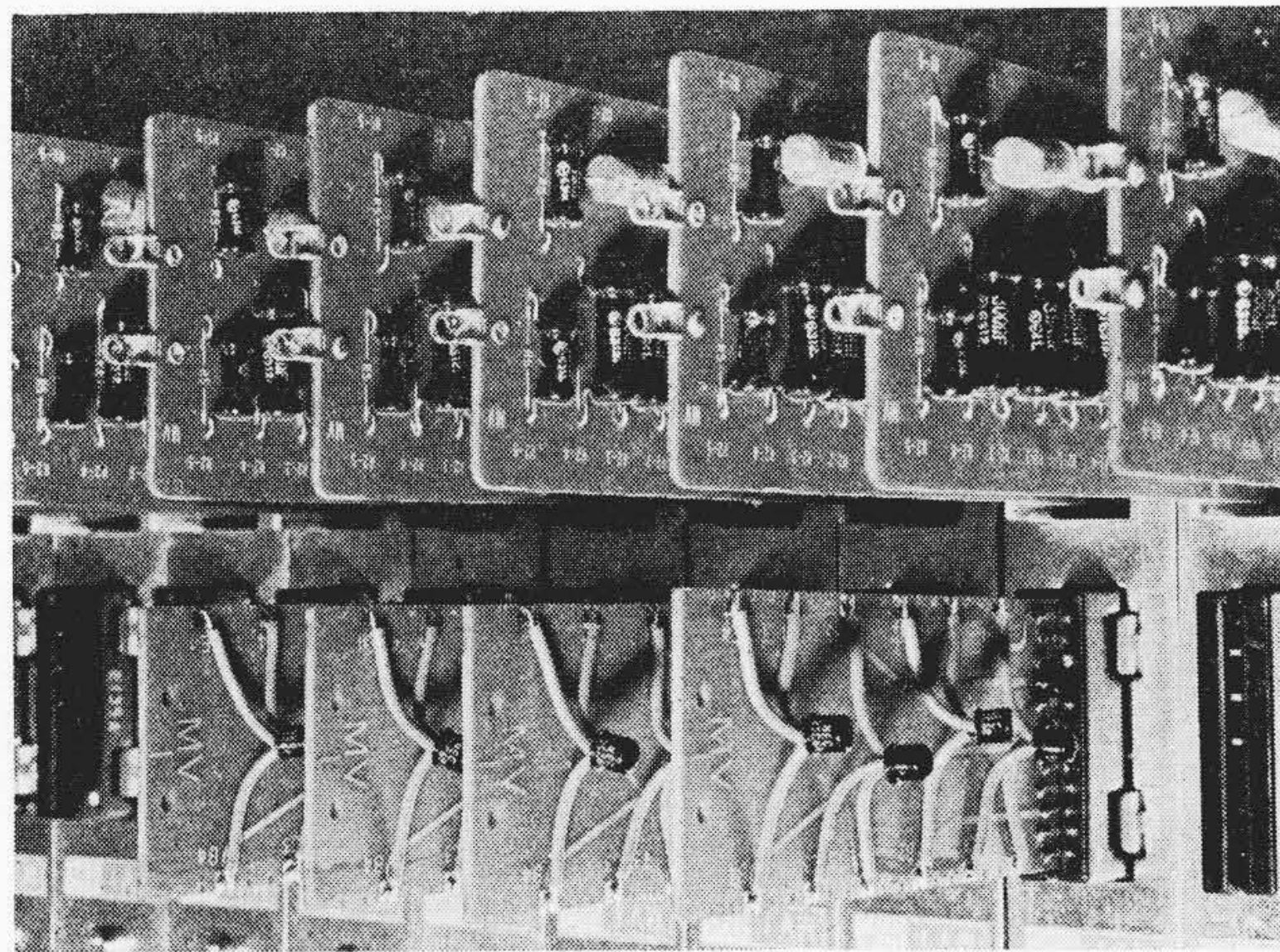
第2図 寿命試験架



第3図 トランジスタ特性自動測定装置ブロック線図

第1表 測定項目一覧

測定項目	測定法	範囲	精度	試験条件
I_{CBO} または I_{EBO}	DC	0.001~0.01 μA	$\pm 10\%$	V_{CB} または V_{EB} 0~ ± 99 V 0~ ± 4.95 V
		0.01 ~0.1 μA	$\pm 2\%$	
		0.1 ~1 μA	$\pm 2\%$	
		1 ~10 μA	$\pm 2\%$	
		10 ~100 μA	$\pm 2\%$	
		100 ~999 μA	$\pm 2\%$	
V_{CBO}	DC	1~ ± 200 V	$\pm 2\%$	I_{CB} 0.1~1 mA
V_{EBO}	DC	1~ ± 99.9 V	$\pm 2\%$	I_{EB} 0.1~1 mA
h_{fe}	270 c/s	1~100	$\pm 2\%$	ib: 0.002, 0.02, 0.2, 2mA _{P-P} V_{CE} : 0.5~49.5 V I_E : 1~99 mA 0.1~9.9 mA
		1~200	$\pm 2\%$	
		1~999	$\pm 2\%$	
h_{FE}	パルス 幅: 350 μS 周波数: 50PPS	1~100	$\pm 2\%$	I_B : 0.02, 0.2, 2, 20, 200 mA _{P-P} I_C : 0.1~1 A V_{CE} : 5~100 V
		1~200	$\pm 2\%$	
		1~500	$\pm 2\%$	
$V_{CE(SAT)}$	パルス 幅: 350 μS 周波数: 50PPS	1~100 mV	$\pm 2\%$	I_B : 0.02, 0.2, 2, 20, 200 mA _{P-P} I_C : 0.1~1 A
		10 mV~1 V	$\pm 2\%$	
		0.1~10 V	$\pm 2\%$	

第4図 被測定トランジスタ
全端子はプラグイン式となっている。

- (4) V_{EBO} (エミッタ・ベース逆耐電圧)
- (5) h_{fe} (エミッタ接地交流電流増幅率)
- (6) h_{FE} (エミッタ接地直流電流増幅率)
- (7) $V_{CE(SAT)}$ (コレクタ・エミッタ間飽和電圧)

上記測定項目一覧を第1表に示す。

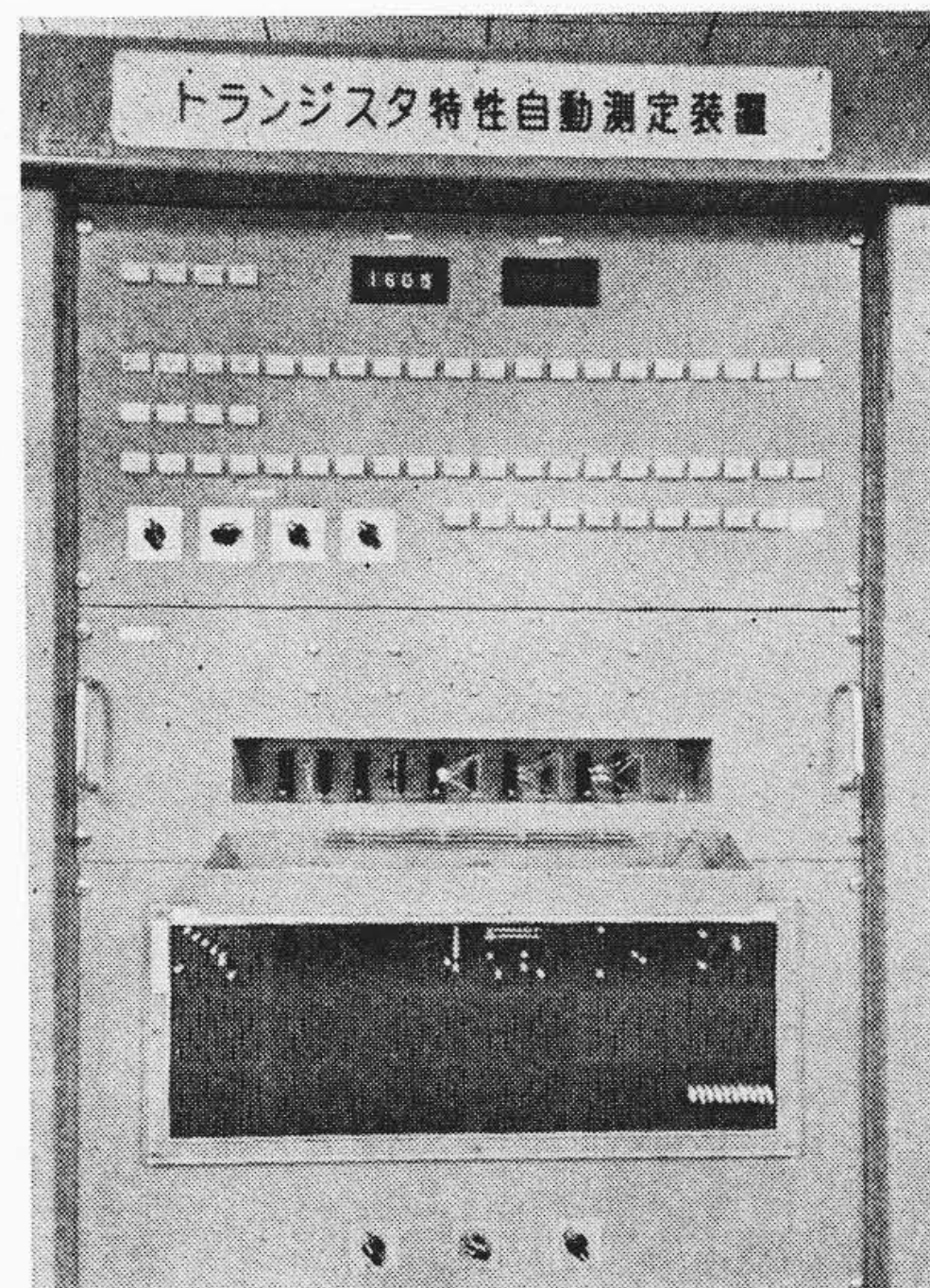
被測定トランジスタは第4図のように1枚のプリント板に最大4個まで取り付けが可能で、この板をそう入するジャックが5個取り付けられているので1回の測定で最大20個測定できる。これ以上数を増すと I_{CBO} 、 I_{EBO} 測定で漏えい障害を生ずるので上記のように20個とした。また入力走査部分は漏えい障害のほか、切り換えに使用する素子の電氣的、機械的寿命も問題となるので、本装置には水銀リレーを使用している。

論理要素は一部ワイヤスプリングリレー、リードリレーを使用したほか、工業用トランジスタ論理素子を使用して高信頼化した。

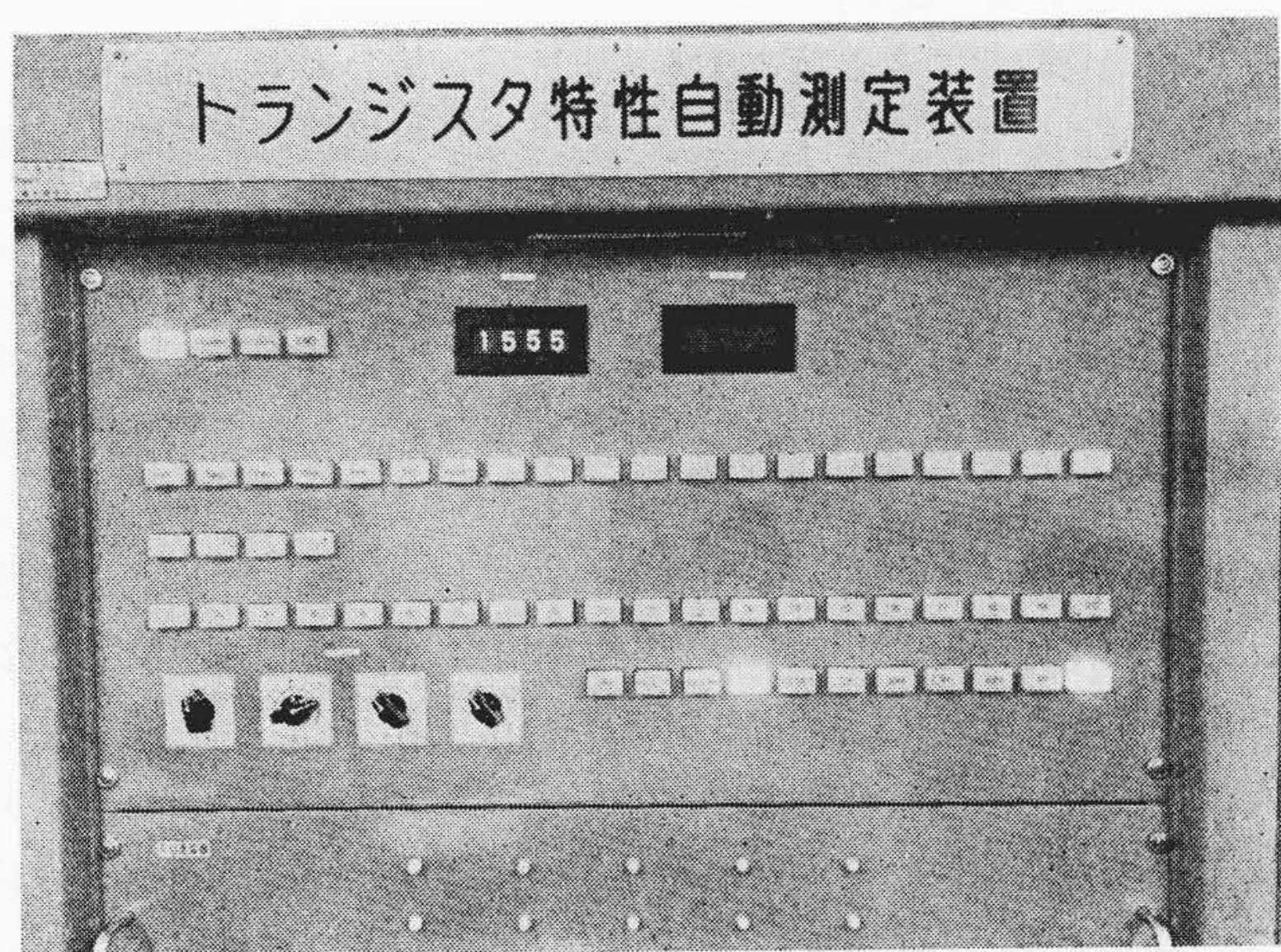
本装置の大きな特長としてあげられることは、ピンボード、ロータリスイッチなどで測定条件ならびにデータ印字方式を自由に切り換えられるようにしたことである。

測定条件としては

- (1) PNPかNPNかの極性選択
- (2) 最大20個のトランジスタを1特性について測定(単特性測定モード)か、1個のトランジスタについて数種の特性測定(複特性測定モード)かの測定モード選択
- (3) 最大24項目内での測定項目選択



第5図 ピンボード設定盤



第6図 操作盤

- (4) 選択された項目の測定順序の選択

などがあり、また日付、時刻も同様にロータリスイッチ、押ボタンで行なわれる。第5,6図はそれぞれピンボード設定、押ボタン操作盤を示す。測定データの記録誤りを防止するため、テープパンチヤを並列運転して双方を照合し、パンチミスを見発することとした。

3. 構成

構成は、入力走査部、検出部、AD変換部、指令部、印字部、表示警報部よりなるが、特に重要と思われる入力走査部、検出部について述べ、他は割愛する。

3.1 入力走査部

この部分で問題となるのは、リレー電源よりはいり、リレーコイル・接点間容量を通して検出器にはいるノイズ、制御線と入力信号線間の静電(電磁)誘導によるノイズ、ならびに入力切換用リレーの絶縁抵抗である。電源ノイズおよびリレーコイル・接点間の漏えい防止としてリレーの電源には蓄電池を用いた。これは、非測定時に充電され、測定時に充電回路より切り離されて商用電源から完全に独立するので、外部雑音、および漏えい電流の影響を除くことができた。

誘導によるノイズに対しては、ノイズレスケーブル、ならびに高周波同軸ケーブルを使用し、これらを他の制御線から分離して1点接地をしたほか、アース線には銅条を用いて細心の注意を払った。

・ 切換リレー接点間の漏えい抵抗も大きな問題である。被測定トランジスタ切換を例にとれば、20個のリレーが並列接続になるので、切換回路としての漏えい抵抗は1個のリレーの漏えい抵抗の1/20になってしまう。たとえば、最悪条件を考えて、 V_{CB} を $-100V$ として、 $10^{-8}A$ の I_{CBO} を測定する場合の漏えい抵抗は $10^{10}\Omega$ 以上でなければならない。さらに切換リレー1個あたりは $20 \times 10^{12}\Omega$ 以上でなければならない。

以上述べたように、リレーを含めた切換回路の漏えい抵抗には細心の注意を払って配線材を選択し、また、切換リレーとして採用した水銀接点リレーも特別に製造したものを採用した。

また、 $V_{CE(SAT)}$ を測定する場合、検出器から被測定トランジスタまでの抵抗も問題である。この場合、最悪条件では（コレクタ飽和電流 I_C を $1A$ として、 $0.1V$ レンジで測定）接栓抵抗、切換リレー接点の接触抵抗および導線抵抗を $1m\Omega$ 以下におさえないといけない。導線として、十分太い線を用い直流抵抗を零としても、接栓、切換リレー接点による数 $10m\Omega$ の抵抗が残ってしまい、これが数10%の誤差となる。

この誤差を無視できる値にすることは不可能なので、測定前に、抵抗値をダイヤルで設定することにし、これら抵抗による誤差を除いた。

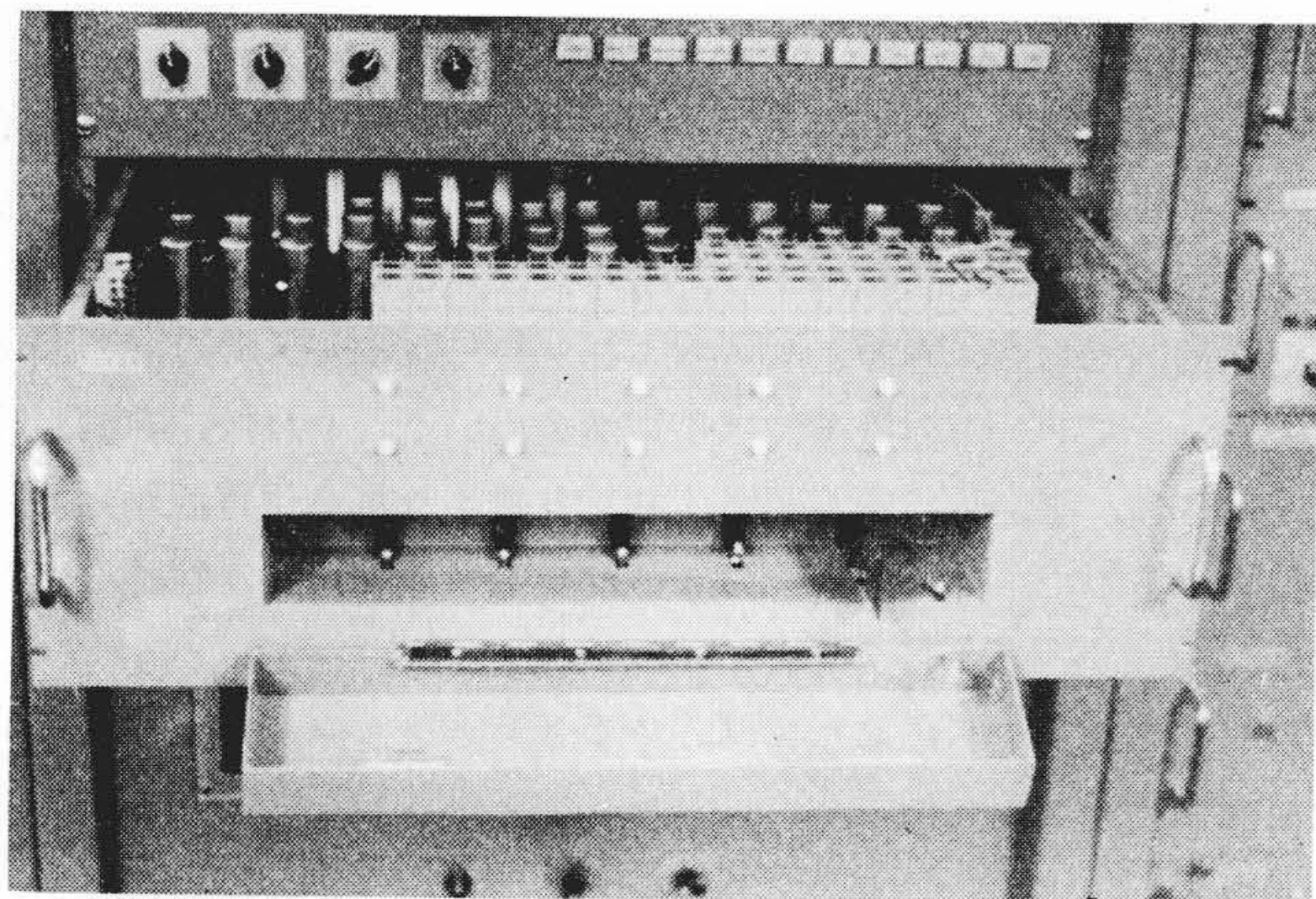
I_{CBO} 、 I_{EBO} 測定で予期していなかった問題としては、配線材として用いた同軸ケーブルの心線とシールドとの間に帯電した電荷による放電電流と、誘電物による誘電体吸収現象と見られる電流による誤差であった。これは $10^{-9} \sim 10^{-10}A$ 程度の電流で、数10秒という長い時定数で放電するものである。この対策としては、測定開始前に必ず放電させることにし、以前の測定によるひずみが除かれてから測定することにした。

h_{fe} 、 h_{FE} 、 $V_{CE(SAT)}$ 測定では、被測定トランジスタが、自励振を起こし、測定不能になる場合がある。この現象は、被測定トランジスタのコレクタ、エミッタ、ベースに切換リレー、導線が接続されているので、等価的に考えれば、インダクタンス、キャパシタンスが接続され、これが発振条件をみたし、 $150Mc$ 程度の自励振を起こすものと思われる。この考えのもとに対策を施し、絶対に発振条件にならないようにし、解決した。

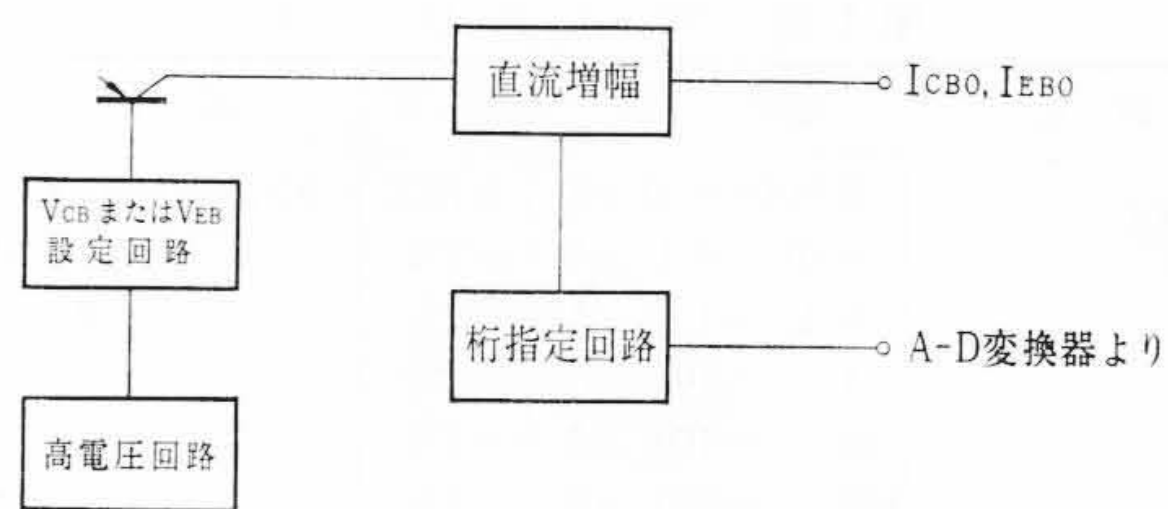
以上の点が解決されたので、当初、懸念していた微小電流、微小電圧の測定もなんら支障なく測定可能となった。第7図に入力走査器の外観を示す。

3.2 検出部

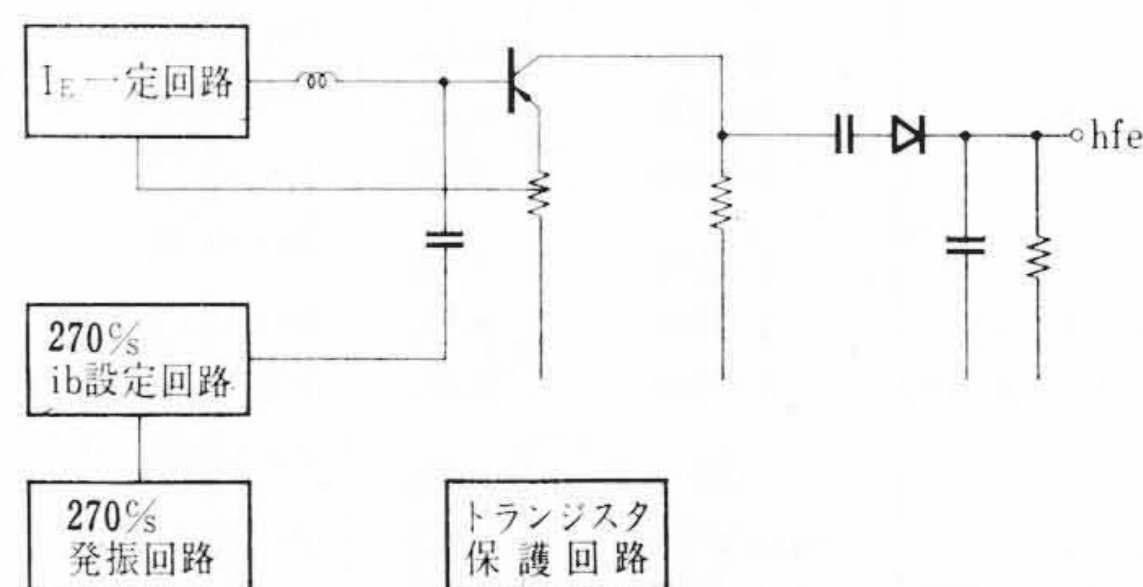
検出部はビルディングブロックの思想で、将来、24項目までの測定ができるよう、考慮してあるが、現在のところ第1表に示す7項目である。検出器は次のように測定方法が同一のものは、まとめて



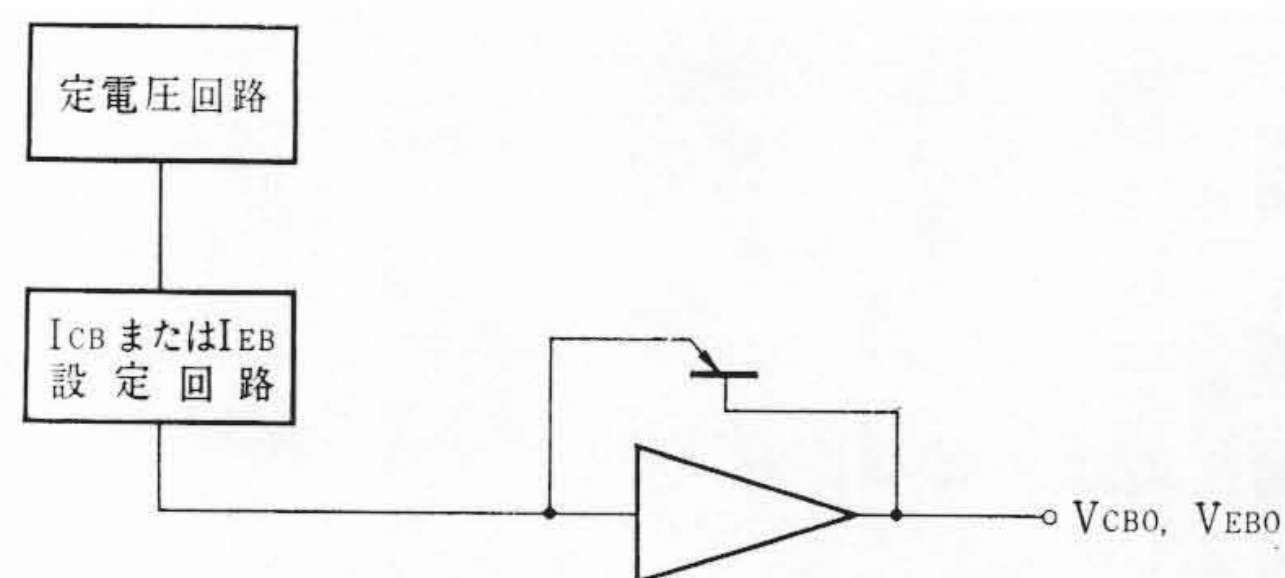
第7図 入力走査器



第8図 I_{CBO} 、 I_{EBO} 検出器ブロック線図



第9図 h_{fe} 検出器ブロック線図



第10図 V_{CBO} 、 V_{EBO} 検出器ブロック線図

1台としてある。

- (1) I_{CBO} 、 I_{EBO} 検出器
- (2) h_{fe} 検出器
- (3) BV_{CBO} 、 BV_{EBO} 検出器
- (4) h_{FE} 、 $V_{CE(SAT)}$ 検出器

これら4台の検出器はそれぞれ独立しており、1台の故障が他に影響を及ぼさないよう、また単独で自動測定できるようにした。

次に、各検出器について簡単に述べる。

3.2.1 I_{CBO} 、 I_{EBO} 検出器

設定された試験電圧がコレクタ・ベース間、またはエミッタ・ベース間に加えられ、そのときに被測定トランジスタに流れる電流を直流増幅器で増幅する。直流増幅器は初段のみにニュービスタを用いた、トランジスタ化したチョップ増幅器である。本増幅器は自動利得切換機構を有しており、増幅度が不足の場合、自動的に利得が増加する。第8図はブロック線図を示す。

3.2.2 h_{fe} 検出器

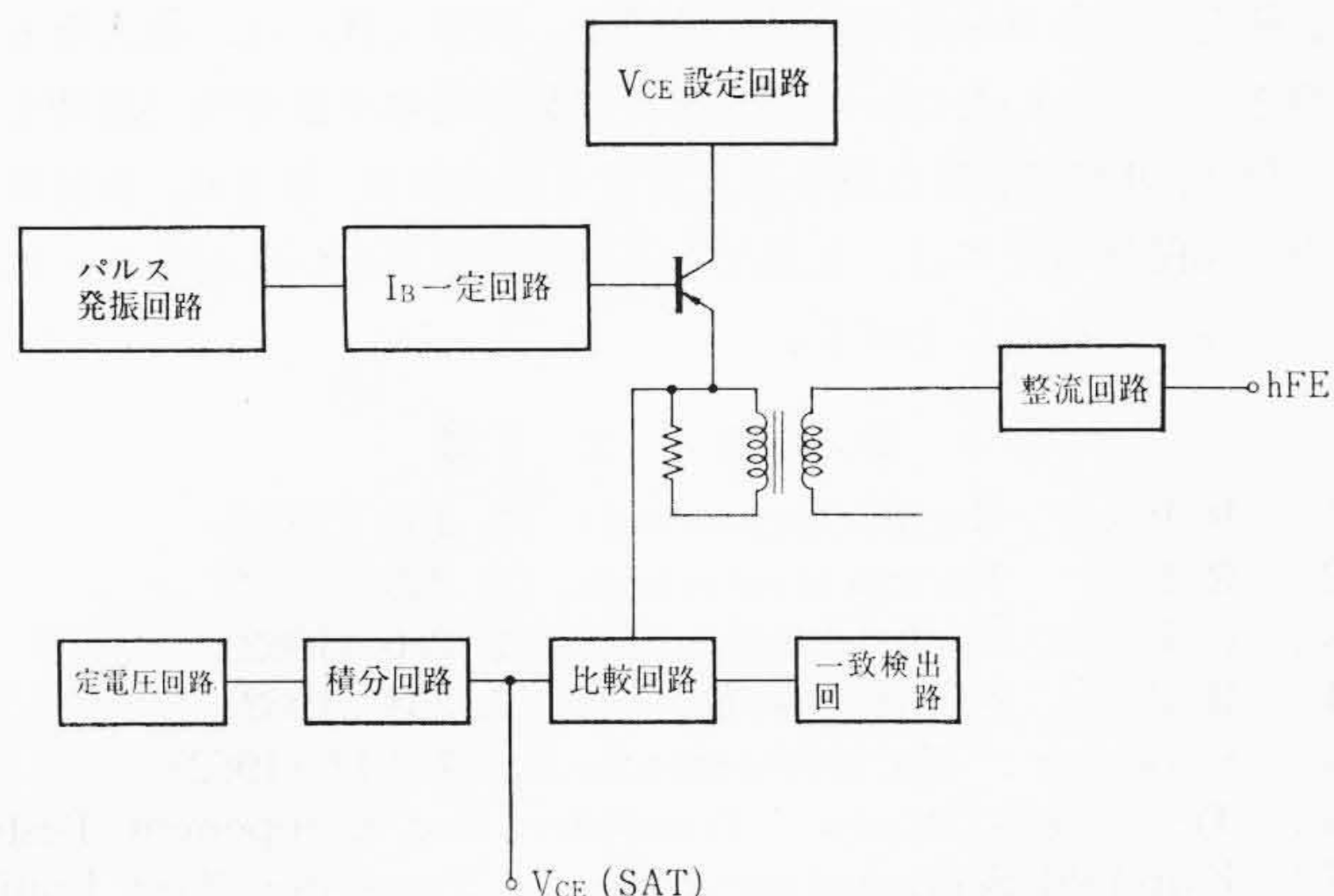
設定されたエミッタ電流が流れるように、ベース電流をエミッタ電流の帰還により制御し、直流動作点を一定にする。さらに270サイクルの設定電流を流し、コレクタに流れる電流の変化を増幅、整流して直流出力とする。この直流出力電圧が h_{fe} を示す。第9図はブロック線図を示す。

3.2.3 V_{CBO} 、 V_{EBO} 検出器

設定電流を被測定トランジスタに流し、そのときの V_{EB} または V_{CB} を測定するが、直流増幅器の入力電流が帰還電流にひとしいことに注目し、設定電流を与える方式を採用した。第10図はブロック線図を示す。

3.2.4 h_{FE} 、 $V_{CE(SAT)}$ 検出器

この測定は被測定トランジスタのベースに $350\mu s$ 幅、50ppsのパルス定電流を流して行ない、コレクタの出力電圧を増幅、検波、インピーダンス変換をして直流出力とする。 h_{FE} はパルス高

第11図 h_{FE} , $V_{CE(SAT)}$ 検出器ブロック線図

電圧であり、 $V_{CE(SAT)}$ は設定されたコレクタ電圧からパルス高電圧を差し引いた電圧として得られる。第11図はブロック線図を示す。

4. 動作

第3図、ブロック線図により動作を簡単に説明する。時計調整、条件設定後、測定開始押ボタンスイッチを押すと動作開始信号がプリンタ、テープパンチャ制御回路にはいり、日付、時刻を印字する。印字終了信号が出て、次いで指令部よりカウンタセットパルスがゲートを経てトランジスタ切換カウンタ、または検出器切換カウンタのいずれか一方にはいる。これは前述の設定が単特性測定モードか、複特性測定モードかによって決定され、単特性測定の際にはトランジスタ切換カウンタに、複特性測定の際には検出器切換カウンタにはいる。このため、カウンタの第一素子がセットされ、この出力はピンボード設定盤であらかじめ定められた測定条件を検出器に送出するとともに入力走査部の水銀リレーを駆動して被測定トランジスタ、および検出器を選択する。

以上の準備を終えると検出器に測定開始信号が与えられ、検出器は測定を始める。検出器は500 ms (ただし $V_{CE(SAT)}$ のみ2 s 以内) に測定を終了し、測定終了信号を出す。AD変換器はこの信号により動作を開始し測定電圧をAD変換する。このAD変換結果が印字およびさん孔され、1点の測定を終了する。

印字およびさん孔が終了すると指令部よりカウンタ歩進信号が出てトランジスタ切換カウンタ、または検出器切換カウンタの第2素子がセットされ、第1素子をリセットする。以下、上述のように測定を続ける。

単特性測定の場合、設定された被測定トランジスタ数の測定が終了すると、プリンタのプラテンが復帰し、検出器切換カウンタが歩進し、次に設定された特性についての測定を第1のトランジスタから始める。複特性の場合は第1のトランジスタについての特性が全部測定されると、トランジスタ切換カウンタが歩進して第2のトランジスタの測定を開始する。すべての測定を終えるとプリンタは復帰し、全測定表示のランプが点灯する。

測定動作中本装置が事故を発生し、動作不良になった場合それが原因で測定中のトランジスタが連鎖的に破壊、または特性劣化を起こすようでは問題なので異常状態が生じた場合は直ちに被測定トランジスタを回路より切り離し停止する。検出部以外が異常の場合は異常箇所を表示したまま停止する。故障復帰の場合、リセット押ボタンを押して最初からデータの取り直しを行なう。検出部異常の場合も異常箇所を表示したまま停止することは同様に行なわれるが検出部異常は、検出器または被測定半導体のいずれによるのか区別できないので試験者の判断に任せ、もし被測定トランジスタ不良の場

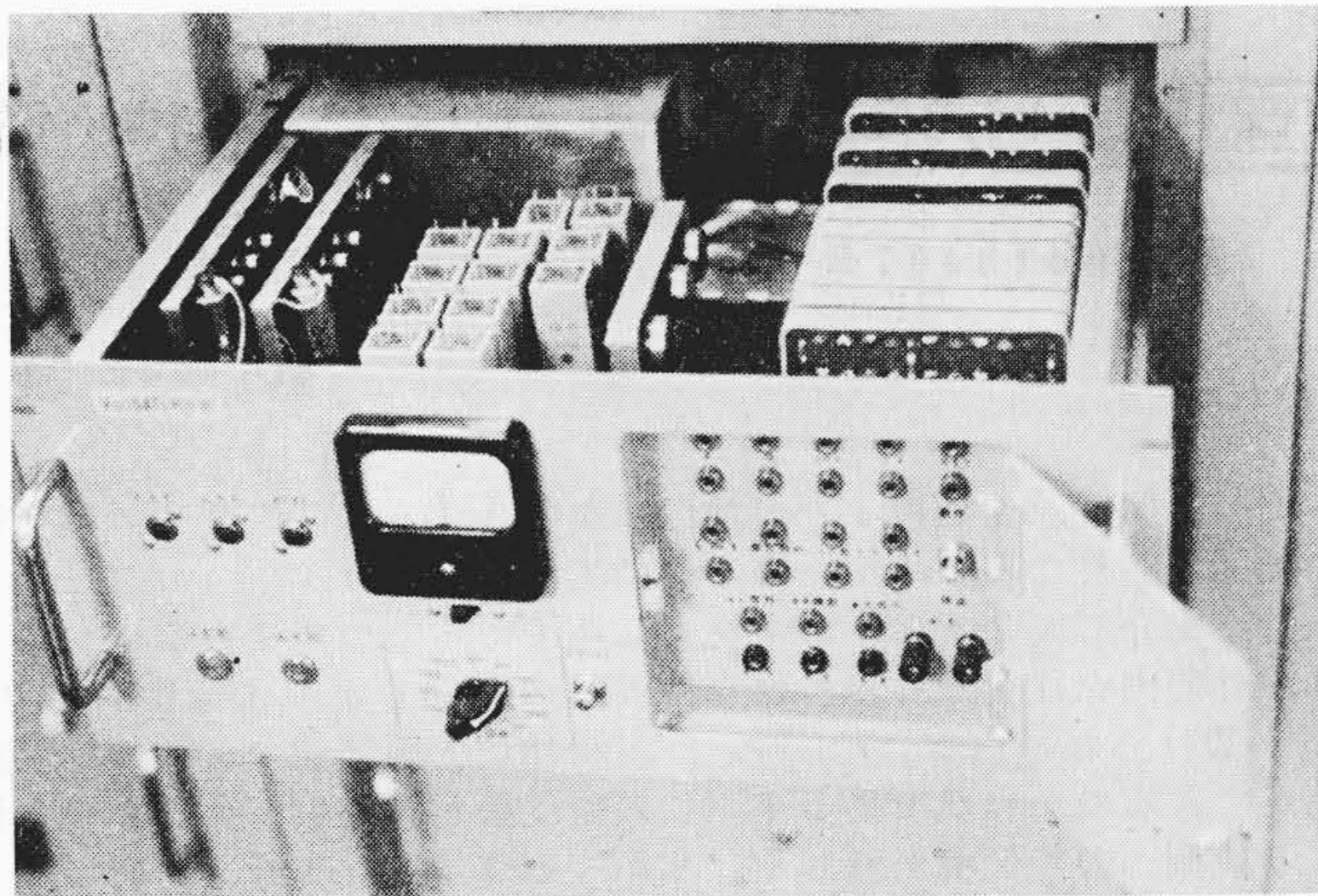
第2表 測定モード別の印字例

(a) 単特性モード印字例

測定項目	日付		時刻		資 料 No				
	月	日	時	分	1	2		19	20
I_{CBO}	6	3	10	23	238	308		198	188
I_{EBO}					418	638		708	718
h_{fe}					062	063		065	070
V_{CBO}					040	043		047	060
V_{EBO}					050	030		020	040
h_{FE}					040	070		070	075
$V_{CE(SAT)}$					045	044		045	042

(b) 複特性モード印字例

資料 No	日付		時刻		測定項目						
	月	日	時	分	I_{CBO}	I_{EBO}	h_{fe}	V_{CBO}	V_{EBO}	h_{FE}	$V_{CE(SAT)}$
1	6	3	10	27	238	418	062	040	050	040	045
2					308	638	063	043	030	070	044
.....											
19					198	708	065	047	020	070	045
20					188	718	070	060	040	075	042



各パネルごとに写真に見えるようなドアがあり、手でチェックできる。

第12図 検出器パネル

合は測定値として999を印字し、そのまま続いて測定するようにした。なお、検出部以外の測定データ通路（前置増幅器、AD変換器、デコーダ、プリンタ）のチェックは日付、時刻を印字している間に一定電圧を印加して行ない、異常の場合はその故障部分をランプで表示し、動作を停止する。第2表に印字形式の一例を示す。

5. 構造および操作法

5.1 構造

第1図に示したようにキュービクル6面とデスク1面よりなる。キュービクル6面のうち1面は電源用、2面は論理素子用、3面は検出部用であり、ユニットは保守、点検が容易なように第12図に示すように引き出し式としてある。

5.2 操作法

2章、概要の項で述べた条件設定を行なった後、被測定トランジスタを架台より引き抜いてきて入力走査器のプリント板受口にそう入する。次に準備完了表示ランプが点灯しているかどうかを確かめたうえで、測定開始押ボタンスイッチを押すと動作を開始する。もし、準備完了表示ランプが点灯していないときに押ボタンスイッチ

を押しても測定開始とならない。

全部の測定が終了すると全測定終了表示ランプが点灯して初めの状態（準備完了の状態）に戻り、次の測定開始を待つことになる。測定過程で異常が生じた場合は4章動作の項で述べた方法でこれに対処する。

6. 結 言

以上、トランジスタ特性自動測定装置について述べた。本装置はトランジスタ、またはダイオード特性測定用であるが、測定装置群を変えれば、抵抗器、コンデンサ、真空管などの電子部品はもちろん、多量生産をしている乗用車、オートバイ、家庭電気品の検査や、医療関係にも取り入れられる。

本装置の設計、製作にあたり、まず解決しなければならなかったのは検出器の自動化と、走査器具の絶縁性、雑音対策、浮遊定数による発振対策であった。これらはすべて解決され、現在好調に運転されており、今後半導体部品の向上に大いに貢献することが期待されている。

本装置の計画、設計、調整全般にわたり、日本電信電話公社電気

通信研究所固体部品研究室長小島博士、和野主任には、絶大なるご指導とご援助をいただいた。また日立製作所中央研究所三浦博士、石川博士、川崎氏、日立電子株式会社今尾技師長、笹倉氏、西村氏、日立工場関係各位には、有益なるご助言ご指導をいただいた。末筆ながら厚くお礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) R. Paul: Nachrichtentechnik, 12, 163 (1962)
- (2) R. Paul: Nachrichtentechnik, 12, 213 (1962)
- (3) R. Paul: Nachrichtentechnik, 12, 260 (1962)
- (4) R. Paul: Nachrichtentechnik, 12, 308 (1962)
- (5) R. Becker: Nachrichtentechnik, 12, 242 (1962)
- (6) Texas Inst. incorp: Transister and Component Tester
- (7) Fairchild Semiconductor Corp: Transistor Test Equipment
- (8) 藤村, 岡本, 遠藤: 昭36電気4学会連合大会 536
- (9) 酒井洋: 誘導妨害とその遮へい (昭37, 日刊工業)
- (10) A. I. E. E.-I. R. E. Com. Rep: Com. and Electronics, 16, 725 (1955)
- (11) JIS-C-7030
- (12) 高橋: 電学誌 75, 1417 (昭30)



特 許 の 紹 介



特許第413407号

丸山武志・山元忠勝

熱 交 換 器

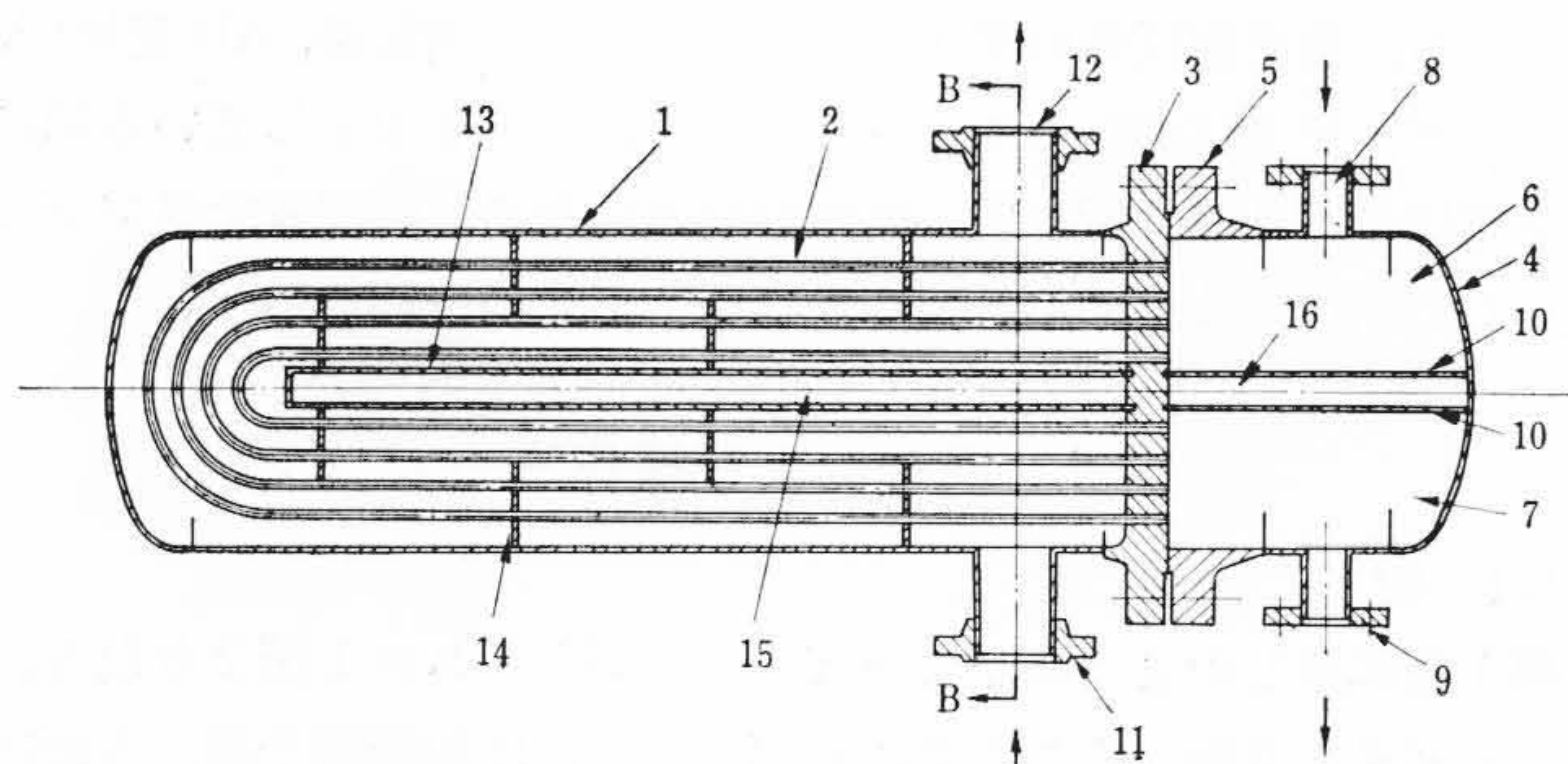
この発明は、仕切板よりの熱伝導を防止することにより、熱交換の効率を最良ならしめんとするものである。

管壁を介して2流体に熱交換せしめている型の熱交換器においては、外殻内を仕切り一連の熱交換媒体の流路を形成する仕切板10、13が設けられている。ところでこの仕切板両側面の流体には温度差ができるのが当然であるが、この温度差が大きいと仕切板の側より他側への熱伝導が甚しくなりかゝる点に関し充分な考慮が払われていないと、この部分の熱漏洩により熱交換の効率を落すことになる。

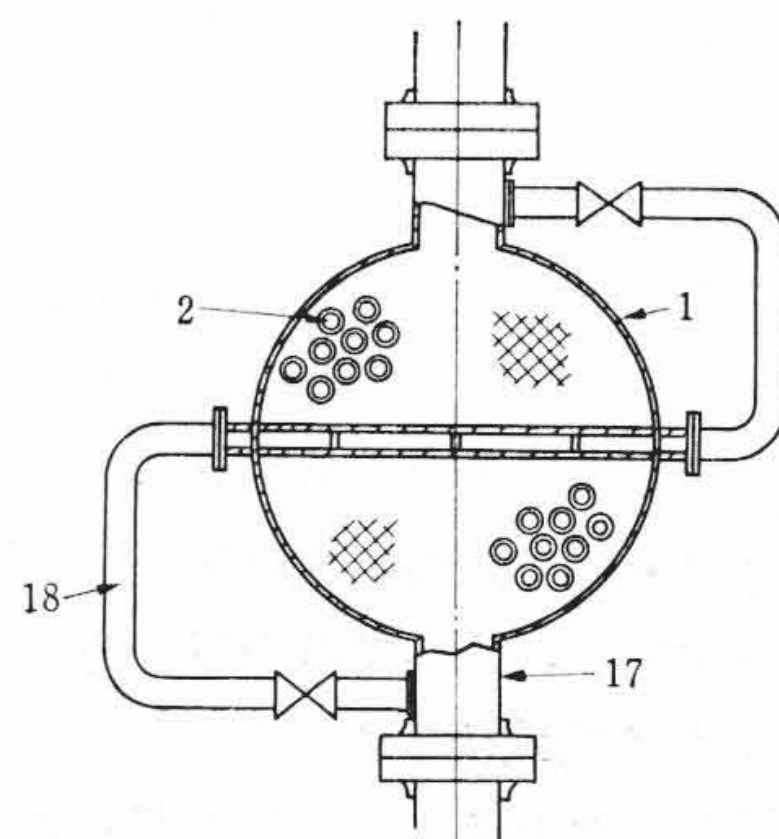
この発明は、従来の単なる板状仕切板を内部に流室15、16を形成

する如く中空の平箱体とし、この板を通じる熱伝達作用を抑制する流体すなわち高温流体の冷却に際しては低温流体を、低温流体の加熱に際しては高温流体を平箱体中に循環せしめることにより熱交換の効率を大ならしめたものである。

図は本発明の一実施例を示すものであり、1は外殻、2は伝熱管、3は管板、4は外殻端蓋、5はフランジ、6および7は仕切板10によって区分された液室、8と11は流入口、9と12は流出口、14は邪魔板であり、本実施例においては、第1図のB-B線断面を示す。第2図に示すように低温流体導入管17より分岐せしめた低温流体を導管18をもって平箱体中に送入するよう構成されている。(山元)



第 1 図



第 2 図