

日 本 国 有 鉄 道 納

S形車内警報装置用トランジスタ定電圧装置

Transistorized Automatic Voltage Regulator for S-type Cab Alarm Supplied to JNR

堀 江 竜 郎*
Tatsurô Horie福 岡 卓 二*
Takuji Fukuoka

内 容 梗 概

国鉄においては、信号錯誤などによる列車事故を防ぐため、列車、電車などに対する保安装置の採用が緊急の課題としてとりあげられているが、昭和36年度より幹線をはじめ、すべての列車にS形車内警報装置を装備することになった。

ここに記述するトランジスタ定電圧装置は、電車、電気機関車、一部気動車用としてS形車内警報装置のトランジスタ回路、および継電器回路に直流18Vを供給する電源装置でその回路方式はトランジスタを用いた並列形定電圧装置である。

この電源装置は国鉄形式AVR-2形とよばれているものであって本論においてその概要、および従来温度などに対して不安定と考えられていたトランジスタ定電圧装置において満足すべき試験結果が得られたのでここに報告する。

1. 結 言

S形車内警報装置は直流 $18 \pm 1V$ 0.4Aの安定な電源を必要とする。しかるに電車、電気機関車などの制御回路電源は常用70~110Vと変動し、特別な場合は短時間150Vにも及ぶことがある。このため抵抗分圧などにより安定な低い電圧を取り出すことは不可能であり、定電圧装置の使用が不可欠の条件となる。

本装置はこのような目的をもって製作されたものですでに数百台納入の実績を得ており、次のような回路上の特長を有している。

- (1) 並列形トランジスタ定電圧装置である。
- (2) 電流補償回路を有している。
- (3) 信頼度向上のためトランジスタなどに十分余裕のある使用法を行なっている。

2. 仕 様

本装置の仕様は下記のとおりである。

入力電圧変動範囲	DC 70~110V
出力電流変動範囲	0~400 mA
使用温度範囲	-20~+50°C
出力電圧変動範囲	上記入力電圧、出力電流、使用温度範囲でDC $18 \pm 1V$ 以内
絶縁耐力	外箱と内部回路 AC 1,200V 1分間
耐振性	振動数 20 c/s, 加速度 1.5 gにて振動方向、上下、左右、前後の3方向におおの2時間加振して装置内部および性能に異常がないこと。
過電圧特性	負荷開放において入力電圧150V 5秒間加えて装置内部に異常がないこと。

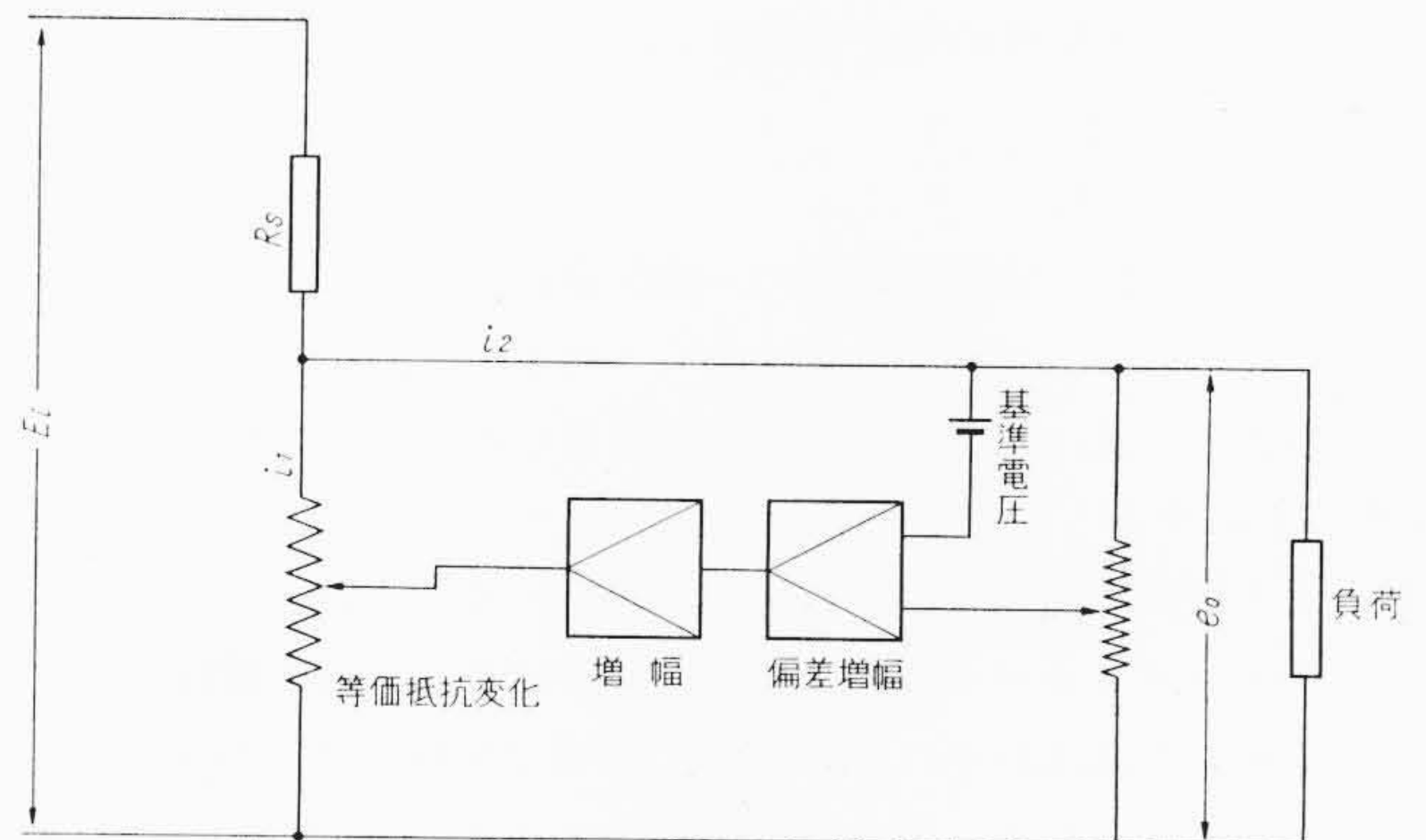
上記仕様に示されるように特性上過酷な要求がなされ、また耐振性など車両搭載用の特殊な条件があたえられている。同様に絶縁耐力特性に、汚染を考慮して高い数値が規定されていることも注意すべき点であろう。

3. 定電圧装置の回路および特性

3.1 原 理

トランジスタ定電圧装置としては直列形および並列形があり、直

* 日立製作所水戸工場



第1図 並列形定電圧回路原理図

列形定電圧装置はすでに数多く実用化されているが、比較的高い直流電圧より低い定電圧を得ることを目的とした並列形定電圧装置はその実用例がきわめて少ない。その理由はトランジスタの順耐圧および許容損失の問題ならびに比較的高い直流電圧より低い直流電圧を得る必要がなかったことによるものと考えられる。しかし並列形定電圧装置の回路それ自体は比較的高利得を有する帰還増幅器の応用にすぎないため回路上の問題は少なく、その理論的解析もすでに種々発表されているのでその原理についてのみ簡単にのべる。

第1図は並列形定電圧装置の原理を示すブロック図である。すなわちある基準電圧を設定しておき、出力電圧の変動に比例した電圧をポテンシオメータで検出し基準電圧との偏差分を増幅し、出力トランジスタの等価コレクタ抵抗を変化させて直列抵抗に流れる電流を変化させ、その電圧降下により出力電圧を一定に制御するものである。したがって次の式が成立する。

$$e_0 = E_i - R_s(i_1 + i_2) \quad (1)$$

e_0 : 出力電圧

E_i : 入力電圧

i_1 : 出力トランジスタコレクタ電流

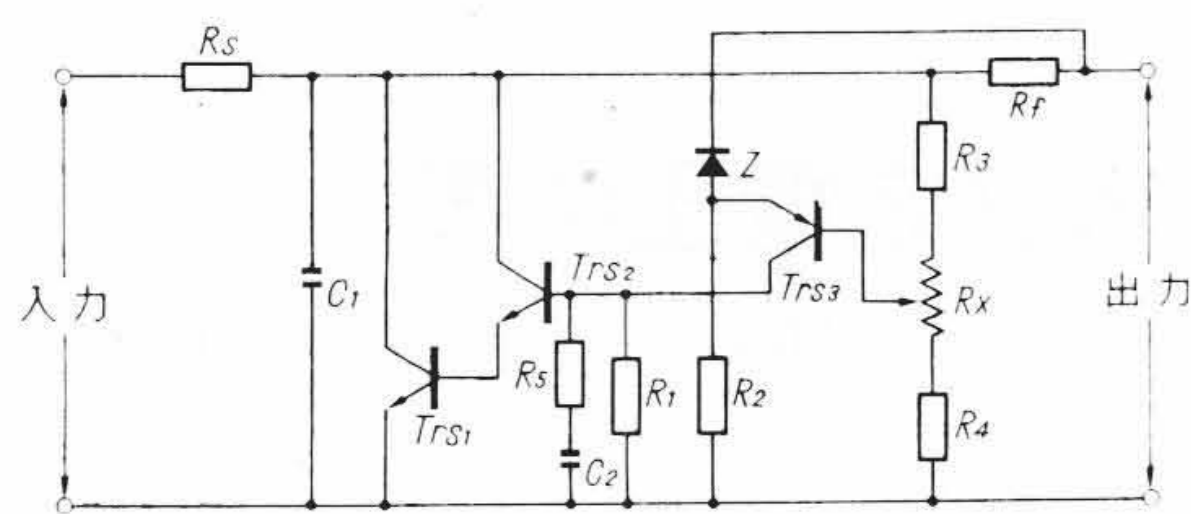
i_2 : 負荷電流 (増幅回路電流も含む)

R_s : 直列抵抗

(1)式において入力電圧が一定であるとき負荷の変化による負荷電流の変動は i_2 の変化分だけ i_1 が変化し

$$i_1 + i_2 = \text{一定} \quad (2)$$

なるように動作し、出力電圧を一定に保持する。



第2図 AVR-2 形回路図

また入力電圧の変動はトランジスタの等価抵抗を増減し、直列抵抗 R_s による電圧降下の増減によってその変動を吸収する。すなわち(3)式のとおりである。

$$\Delta E_i = R_s [\Delta i_1] \dots \dots \dots (3)$$

実際の定電圧装置において(2)，(3)式がそれぞれ独立して働く場合はほとんどない。

3.2 回路動作および特性

第2図に本装置の回路図を示す。基準電圧はツェナーダイオードにより与えており動作抵抗のもっとも低い日立製7V ツェナーダイオード(形式TR-7)を用いている。

一般に定電圧装置の電圧変動率 η は

$$\eta \approx \frac{1}{A} + \frac{1}{\varepsilon} \dots \dots \dots (5)$$

A : 帰還増幅器の一巡伝達利得

ε : ツェナーダイオードの電圧変動率

で表わされ、 A は回路図に示す程度の直結増幅器においても容易に 10^4 以上にすることができるため、ツェナーダイオードの電圧変動率が出力電圧変動率に与える影響はきわめて大きい。

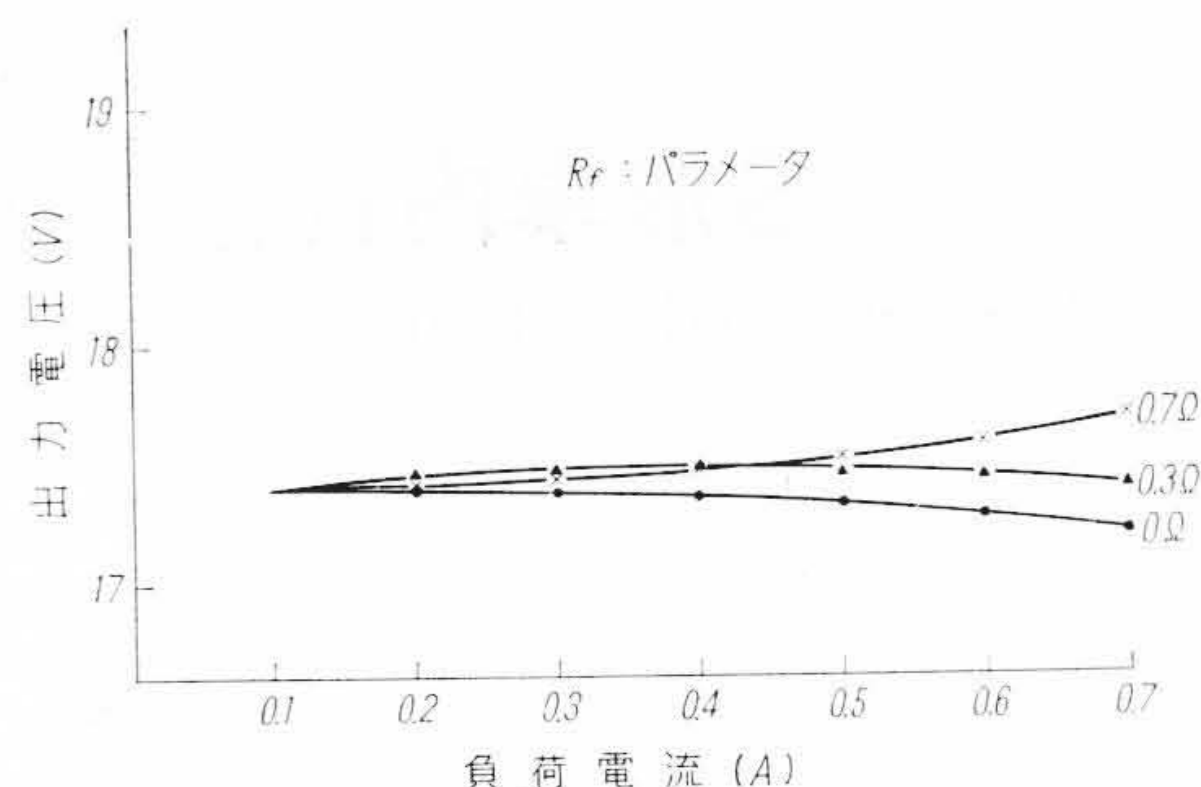
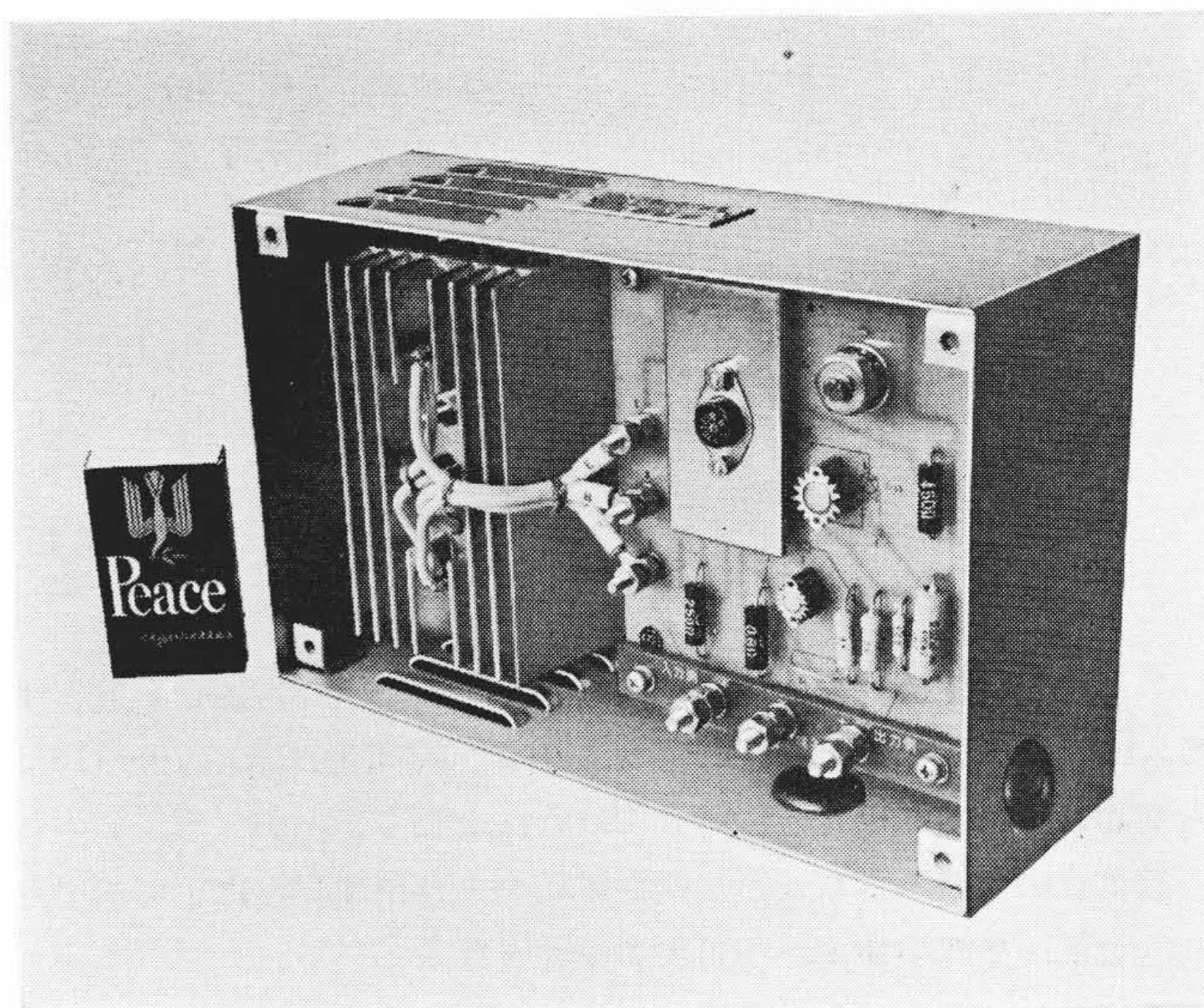
ツェナーダイオードTR-7によって設定された基準電圧と出力電圧に比例した電圧がそれぞれ Trs_3 (形式2SB 67 ㊸) のエミッタ、ベースに加えられる。出力電圧が増加すれば Trs_3 のエミッタ、ベース間の電位差が大きくなり、そのコレクタ電流が増加し Trs_2 、 Trs_1 で増幅され、 Trs_1 を制御しそのコレクタ電流を増加し直列抵抗による電圧降下を大にして出力電圧を下げる。 Trs_3 のエミッタ、ベース間の電位差が小になれば Trs_1 のコレクタ電流を減じて直列抵抗による電圧降下を減じて出力電圧を上げる。

一方これらの基本的な定電圧回路のほかに電圧補償および電流補償を行なうことによって定電圧装置の安定化率の改善をなすことができることは衆知のとおりであるが、特に電流補償はそれを適当に実施することにより負荷側よりみた定電圧装置の内部インピーダンスを零もしくはある範囲内で負(出力電流に比例して出力電圧も上昇する)にすることが可能である。この回路においては車体ぎ装の関係より直列抵抗器 R_s が別箱によっているうえに、並列形定電圧装置において、直列抵抗がある程度電圧補償抵抗にもなるために特に入力電圧に対する補償は実施していないが帰還抵抗 R_f により電流帰還を実施している。すなわち出力電流の増加によって R_f による電圧降下を大にしそれを Trs_3 のエミッタへ加えてあたかも出力電流の増加により出力電圧が大きく低下したように Trs_3 を動作させて出力電圧を維持するものである。

この帰還抵抗 R_f を種々の値にしたときの負荷電流に対する出力電圧変化の実験結果を第3図に示す。以上の結果に基づき R_f を 0.6Ω とした。

4. 構造

本定電圧装置は前記のとおり国鉄車両にぎ装されるものである。車種により車内構造が異なるため、取付構造は簡単で、かつ極力小形であることが要求される。また蒸気機関車の煤煙、塵埃(じんあ

第3図 帰還抵抗 R_f による出力の変化特性

第4図 S形車警用定電圧装置内部構造図

い) による汚染、塩害など屋外と同程度の環境条件を考慮しなければならない。

本装置は第4図に示すような構造を有しているがその特長は次のようなものである。

- (1) 出力トランジスタの取り付けは特殊放熱フィンによった。
- (2) 検出増幅回路はプリント配線基板に収容した。
- (3) 回路部品に高信頼性、長寿命の部品を選定使用した。
- (4) 量産に伴う作業性について考慮した。

以下それらについて説明する。

4.1 放熱フィン

本装置においては出力トランジスタに比較的大きいコレクタ損失を許容するように特殊に設計された放熱フィンを用いてこれを取り付けている。その目的とするところはトランジスタ接合部と外気との間の熱抵抗を小にし、トランジスタの温度上昇を抑えるためである。

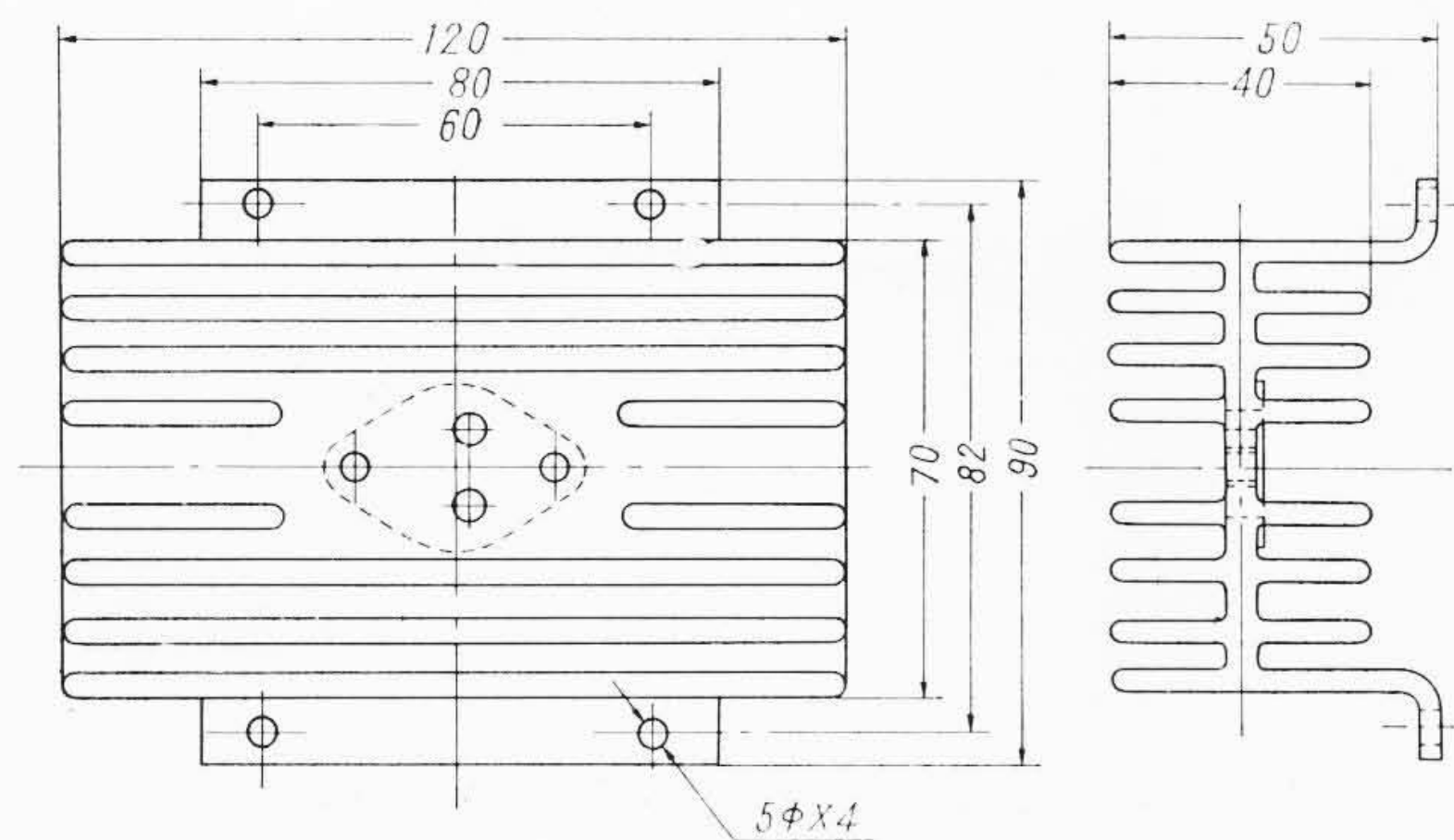
与えられた仕様において出力トランジスタのコレクタ損失が最大になる場合は、負荷開放で入力電圧150V 5秒間である。

このとき出力電圧を18Vに維持するために直列抵抗を流れる電流 I_c のすべてを出力トランジスタが流すものとすれば、直列抵抗 100Ω のときのコレクタ損失 P_{cmax} は23.8Wとなる。

これによって発生する熱を適当に放散する方法を講じなければ接合温度 T_j が定格温度を越えてトランジスタを焼損したり、焼損しないまでも著しく寿命を縮める。トランジスタの接合面の熱時定数は5秒に比較して著しく短いため連続定格と変わるところがない。

シリコントランジスタの接合面許容温度は $150\sim 300^\circ\text{C}$ であるが、使用した2SD124 ㊸については 175°C が保証値であるため接合面温度を常にそれ以下にする放熱片を用いなければならない。

一般にコレクタ損失と接合面温度 T_j の関係は



第5図 放熱フィン外形寸法図

$$T_j = R_0 P_c + T_a \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$R_0 = R_j + R_r + R_a \quad \dots\dots\dots (7)$$

T_a : 周囲温度 (°C)

R_0 : 接合面より空気までの熱抵抗 (°C/W)

R_j : 接合面よりフランジ間の熱抵抗 (°C/W)

R_r : フランジより放熱フィン間の熱抵抗 (°C/W)

R_a : 放熱フィンより空気までの熱抵抗 (°C/W)

一般的に R_j はトランジスタの機械的寸法および構成材質によって若干の差があり、また R_r はフランジ面と放熱フィンの面の接触状況により著しい差があり、さらにその間に絶縁物を介すると最低 1°C/W 程度の熱抵抗の増加がある。 R_a は主として放熱フィンの形状および外気温との温度こう配によって定まる値で R_0 のうちもっとも大きな割合を占める部分である。

したがって $P_{c\max}$ を 24W としなお 175°C 以下におさえるためには、外気温を 50°C とすると

$$R_0 \leq \frac{(T_j - T_a)}{P_c} = \frac{(175^\circ - 50^\circ)}{24} = 5.2^\circ\text{C/W}$$

すなわち T_j を保証値以下に保つためには総合熱抵抗 R_0 を 5.2°C/W 以下にせねばならない。

第5図は使用した放熱フィンの寸法図でおもな材質はアルミである。この放熱フィンとトランジスタを密着させ、放熱フィンのヒレの方向を空気の対流の最悪の横方向におき、その周囲をボール紙で囲んだ状態で R_0 は 4°C/W 程度で本装置における取付状態で 3°C/W 以下である。

以上の結果より本装置における出力トランジスタの許容損失は外気温 25°C で約 50W, 60°C においても約 42W である。このようにトランジスタに適切な放熱方法を講ずれば小形トランジスタにおいても許容コレクタ損失を増大させ、かなりの余裕をもって使用することができる。この放熱フィンを用いてトランジスタ 2SD124 ⑩の過損失試験を実施したが、そのときのコレクタ損失 P_c とフランジ温度を実測したものを第6図に示す。

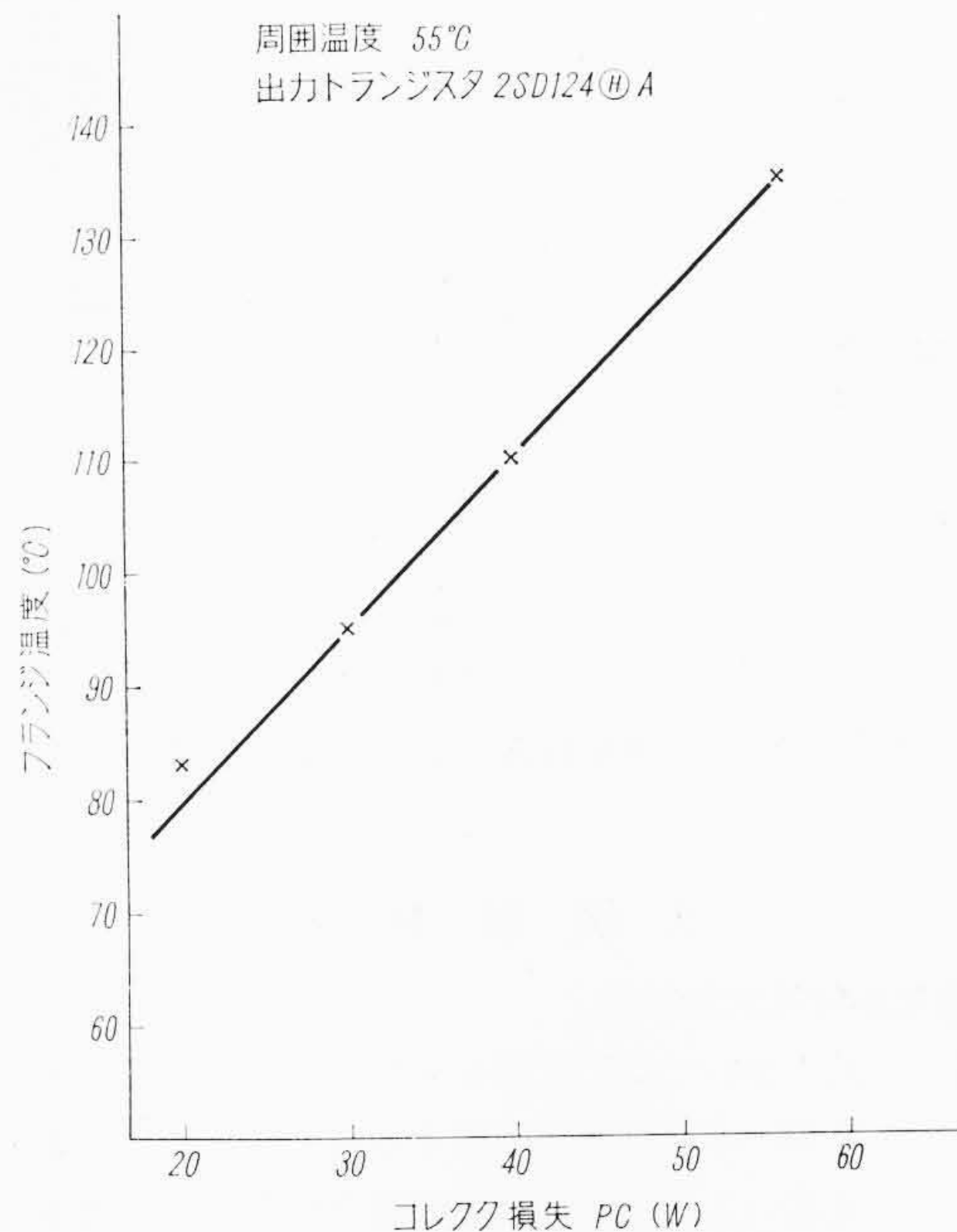
4.2 プリント配線板

銅張積層板はエポキシガラス MCL (日立 MCL-E-61) の 1.6mm 厚を使用した。耐熱性、耐湿性、耐アーク性にすぐれた特性を有し、高度の絶縁性があり機械的にも特に強いものである。銅ハク配線幅は電流量より機械的強度と経年劣化を考慮して最小 2mm とした。

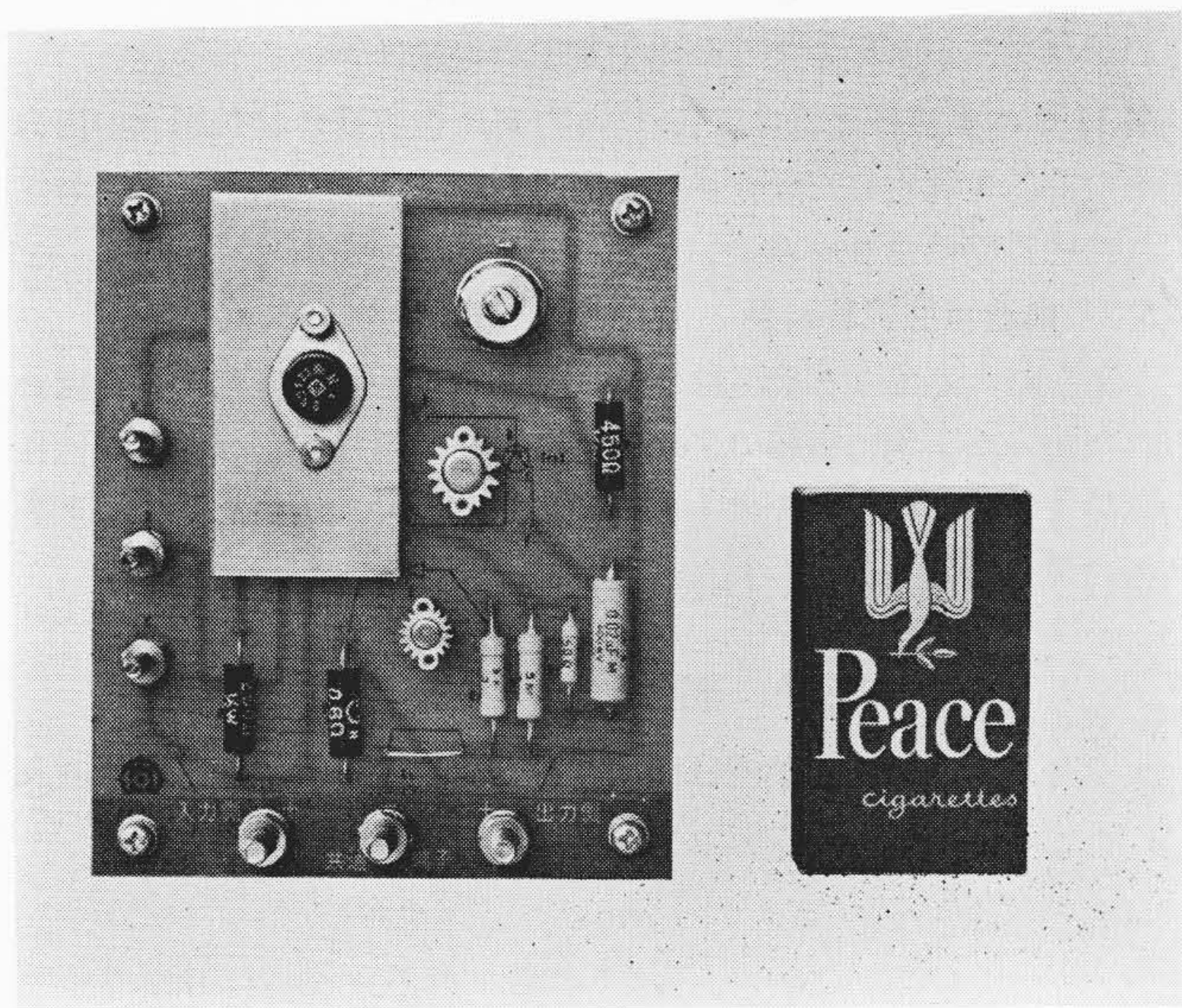
回路部品のプリント配線板への取り付けには振動を考慮し、特にトランジスタ、ダイオードには放熱効果もかねて、金属キャップをかぶせ、配線板にネジで固定した。第7図は部品を組み込んだプリント配線板の外観である。

4.3 回路部品および量産化への考慮

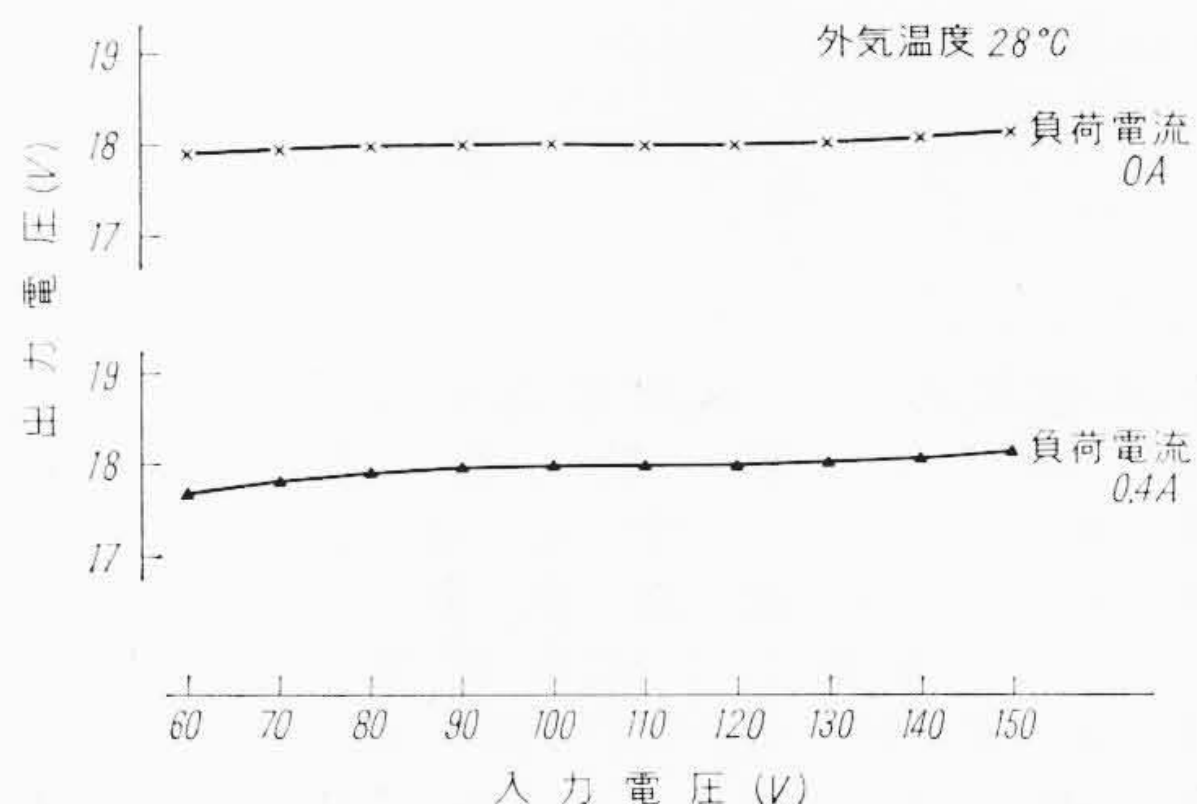
抵抗器、コンデンサについては、定数偏差、温度係数の小さいも



第6図 放熱フィンを用いた場合のトランジスタ 2SD124 ⑩A のコレクタ損失と温度上昇の関係



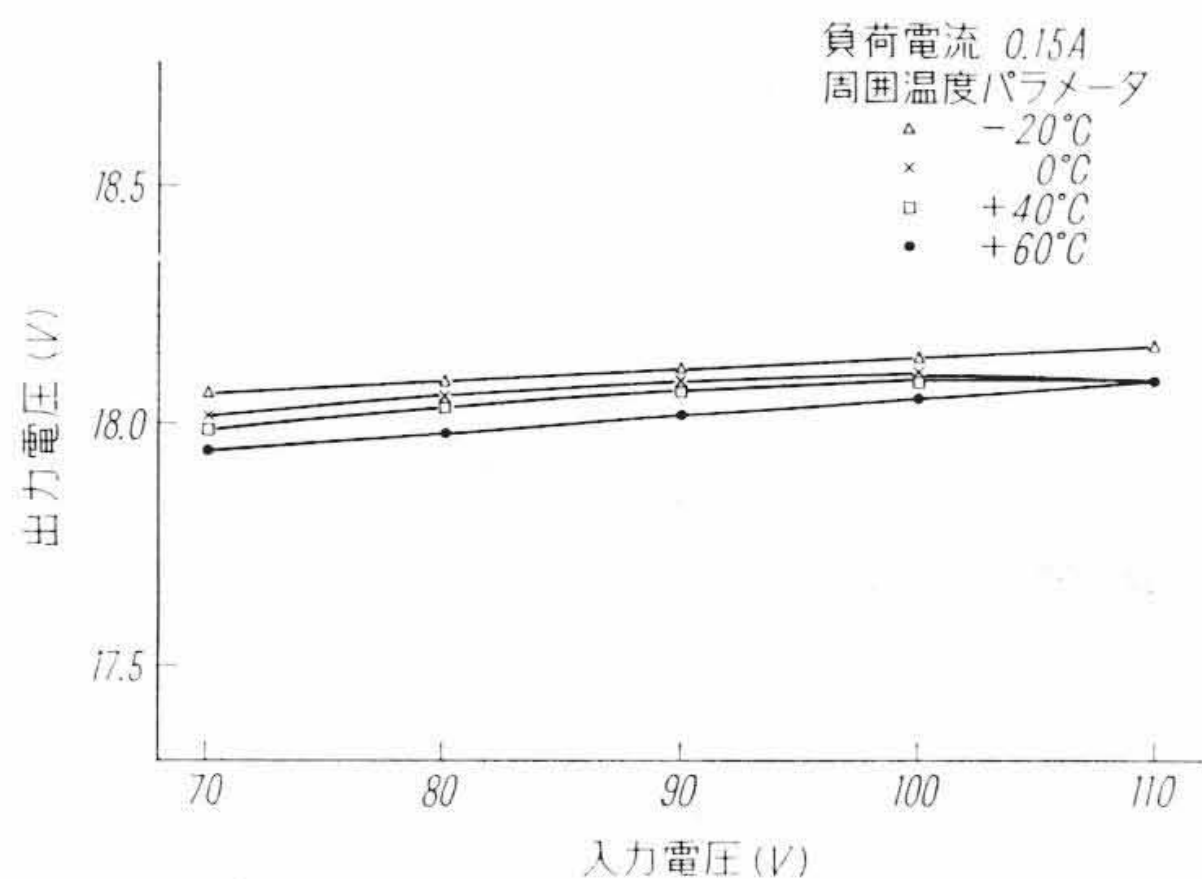
第7図 プリント配線回路外観図



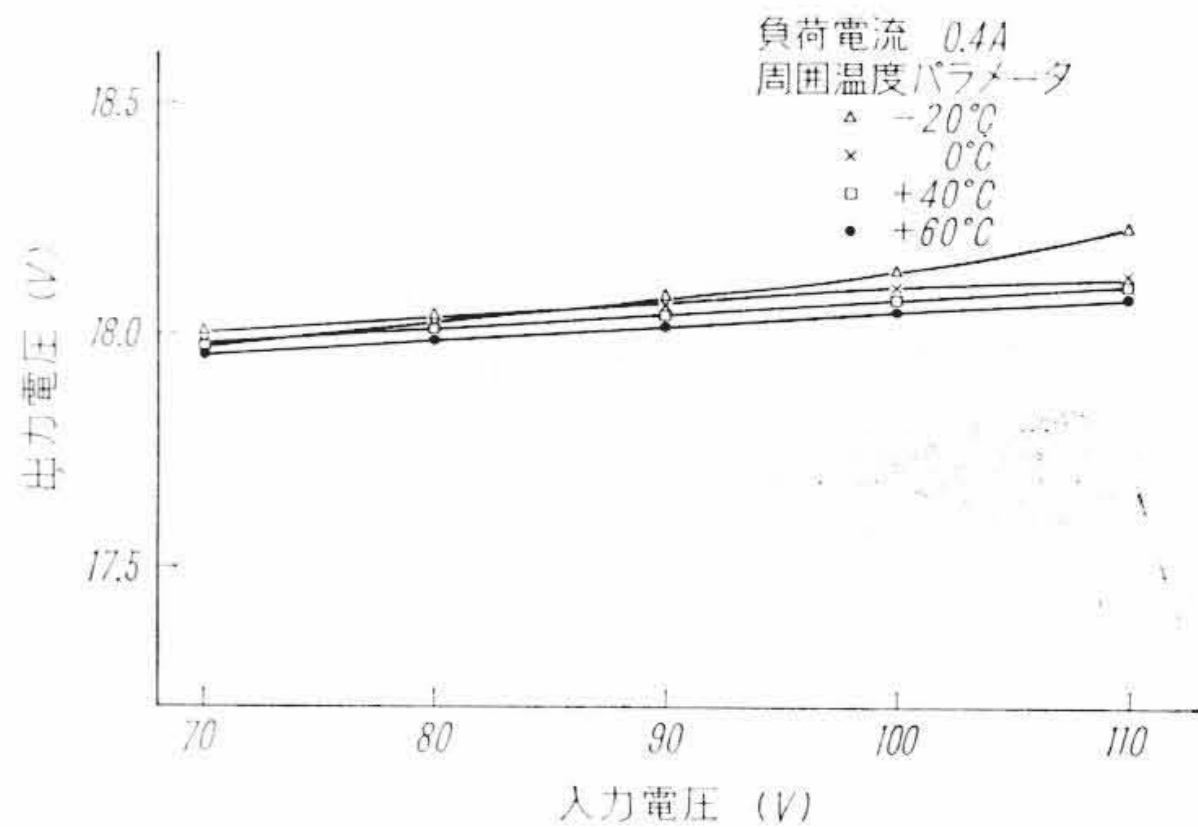
第8図 負荷電流パラメータによる入力出力特性

のが望ましいが、許容範囲で信頼度の高いことが最も要求される。特にその点に留意し、経年変化のない長寿命のものを使用している。

量産体勢確立のために単純な構造とし、構成部品の製造工程の簡易化を図るとともに、流れ作業によって容易に組み立てられるように工夫した。



第9図 負荷電流0.15Aにおける周囲温度によるドリフト



第10図 負荷電流0.4Aにおける周囲温度によるドリフト

5. 試験結果

5.1 電気的特性試験結果

第8図は常温において負荷電流をそれぞれ0および0.4Aとした場合の入力電圧60~150V変化に対する出力電圧の変化を測定したものである。通常の入力電圧の変動範囲90~110Vでは定電圧装置のみかけの内部インピーダンスはほぼ零である。

第9, 10図は負荷電流を0.15, 0.4Aとし周囲温度と入力電圧をそれぞれ変化させて出力電圧のドリフトを測定したものである。これらのグラフに示されるように出力電圧の変動はきわめて少ない。

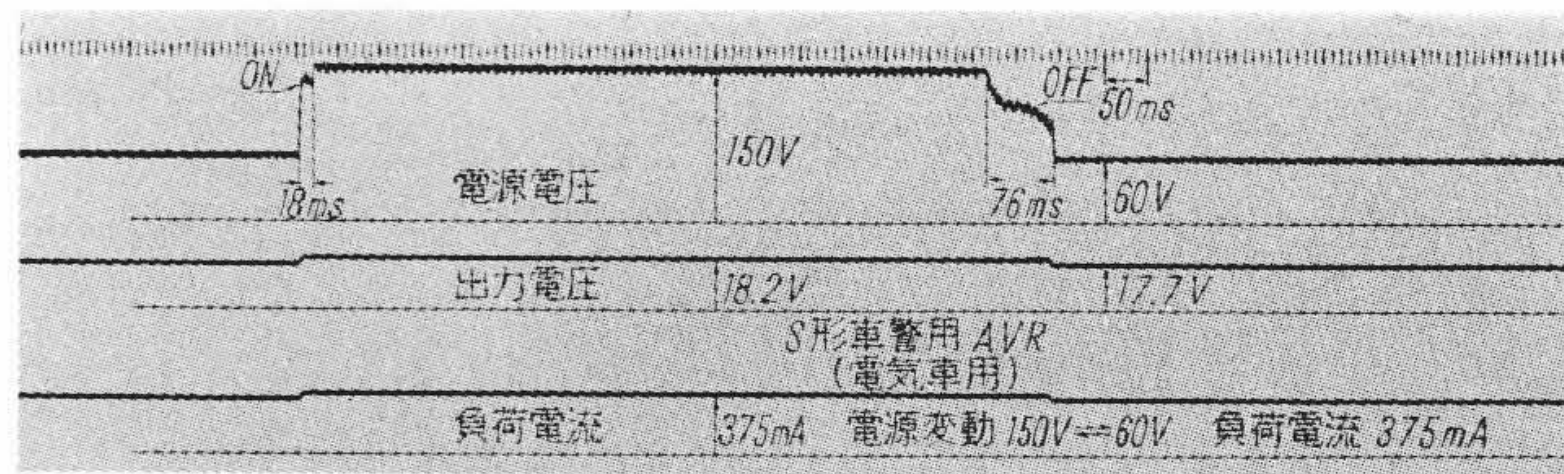
第11図は抵抗短絡法によって入力電圧を急変させた場合の出力電圧の応答を測定したオシログラムである。トランジスタ回路のすぐれた応答性によりレスポンスはきわめて良好である。

5.2 構造特性試験結果

与えられた過酷な振動試験仕様に対し電気的特性変化は全く認められなかった。別に振幅0.5mm, 振動数0~3,000c/minまでの振動試験を実施したが外箱はもちろん, 内部取付部品においても部分共振の現象は全く認められなかった。

6. 結 言

トランジスタ定電圧装置はすでに数多く用いられているが、これ



第11図 入力電圧、急変時の出力電圧の応答特性

を車両用として用いるためにはかなり特別な考慮を払わなければならない。

S形車警用定電圧装置は日立製作所における車両用機器の製作技術およびそれに対する半導体素子応用の経験に基づいて製作されたもので、車両のみならず特に悪環境における電子装置のコンパクトな定電圧電源として広範囲に利用できる。電気的特性ならびに構造的特性においても満足すべき結果を得たものとする。

終わりに本装置の製作にあたって終始親切なご指導を賜った日本国有鉄道臨時車両設計事務所の方々に深甚なる謝意を表する次第である。

第25巻

目

- ・小口受電のエース簡易高圧受電キュービクル
- ・電車の駆動装置と歯車
- ・躍進をつづける日立ショベル
- ・新しい自動車燃料とその基地
- ・ドライブを楽しむ日立的自動車部品
- ・日立家庭電気品のデザイン
- ・外科手術のカラー放送
- ・パイプの花形ヒタレックスパイプ
- ・光通信への前進

次

第12号

- ・明日への道標「北大阪変電所へわが国最初の常時充気式空気遮断器」
- ・日立ハイライト「クリスマスプレゼントに日立<ジュニア>を」
- ・電線百話「空を飛ぶ電線」
- ・新しい照明施設「ニチレ・パークシャの照明」
- ・日立だより
- ・読者の声「日立電気大工」

発行所 日立評論社

取次店 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区丸の内1丁目4番地
振替口座 東京 71824 番

東京都千代田区神田錦町3丁目1番地
振替口座 東京 20018 番