

# ロケット搭載用抵抗線歪計 (第2報)

森 大吉郎・富田 文治・岡田 繁

## 1. ま え が き

昭和31年12月に行ったカップ5号および6号機の飛しょう実験に、サブ・ミニアチュア管を使用した抵抗線歪計を搭載して飛しょう中の尾翼の応力を測定したことはすでに前稿<sup>(1)</sup>に報告した。この歪計は実用的に十分な性能をそなえたものであったが、操作の簡便さ、安定度および電源電池の問題などについてなお改良の余地あると思われた。その後回路部分の小型軽量化、電源電池の小型化および簡略化を目的として回路のトランジスタ化を計画し、たまたまトランジスタのピラニ型気圧計を試作しておられた富永助教のご指導を得て、33年12月にはその完成を見たので、33年4月のカップ150T 2号機、5月 K-V-2号機および6月の K-VI-1号機に搭載して尾翼応力の測定を行った。K-VI-1号機については尾翼の応力および温度上昇をトランジスタ機器によって同時に測定したので次の機会に報告する予定である。今回はトランジスタ化回路の試作の結果、150T 2号機およびK-V-2号機についての測定結果について報告する。

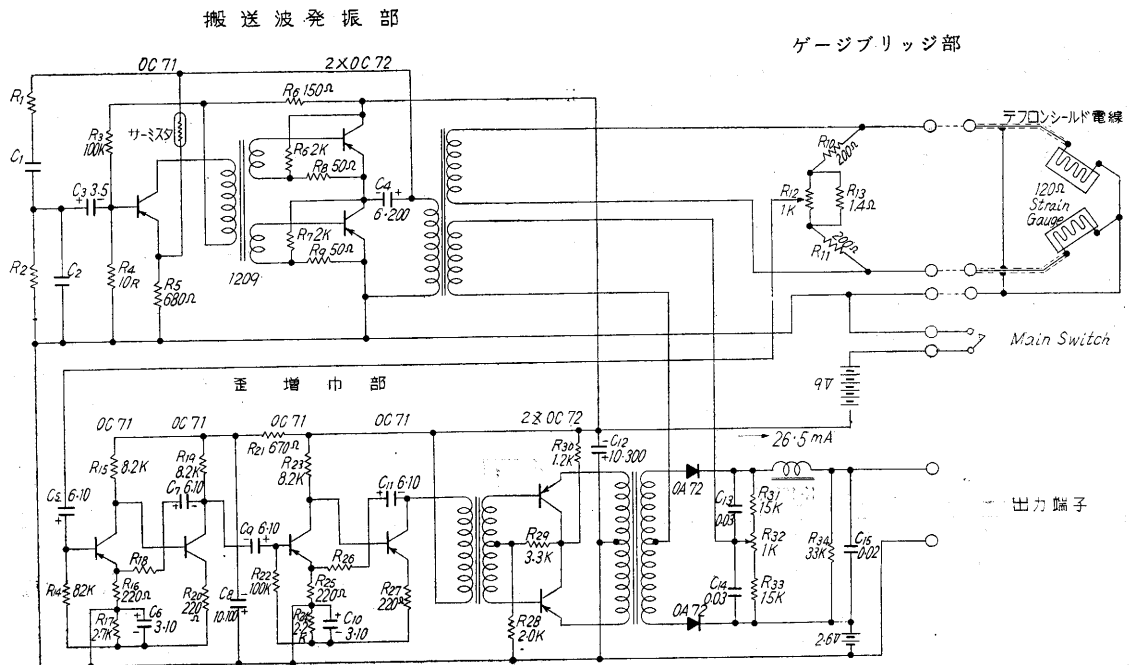
## 2. トランジスタ化回路

回路をトランジスタ化したために得られる利点はあらためて述べるまでもないが、電源効率がよくて電源消費電力が少であるために電源電池の設計が楽になり小型軽量化し得ること、衝撃および振動に非常に強いことなど

があげられるが、一方周囲温度が変化したときに影響を受けやすい、熱に弱い、トランジスタ相互の特性のバラツキが真空管に比較して大きい、高利得の増幅器の場合には初段のトランジスタの雑音が問題であること、および回路設計上増幅段一段あたりの利得が真空管より少ないこと、各段間のインピーダンスの整合を完全にしなければならぬので回路全体が複雑になりやすいなどの欠点があり測定器にトランジスタを使用するにはいろいろな問題が多い。しかし最初にあげたようにロケットに搭載するためには、まことにのぞましい大きな特長があるためにあえて試作を進めた。回路を設計するにあたっては前記のトランジスタに特有の欠点を十分に考慮し、特に温度補償については注意した。

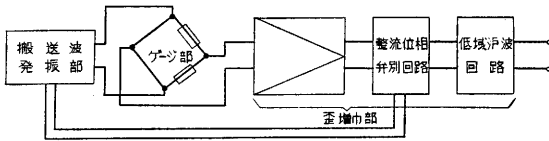
回路の根本方式は前報のと同一であるが、設計の目標としては、周囲温度変化や電源電圧変動に対して安定に動作する搬送波発振器と低雑音高利得増幅器を作ることを中心とした。

感度は大体  $0.1 \text{ V/kg/mm}^2$  から  $2 \text{ V/kg/mm}^2$  の範囲で増幅回路の負帰還量を調整することによって自由に変化させることができる。飛しょう時には燃料の燃焼および機体と空気のまさつのためゲージ周辺の温度は約  $200^\circ\text{C}$  リード線の一部の周辺温度は約  $250^\circ\text{C}$  に達する可能性があるので歪ゲージにはベークライト・ゲージを使用し



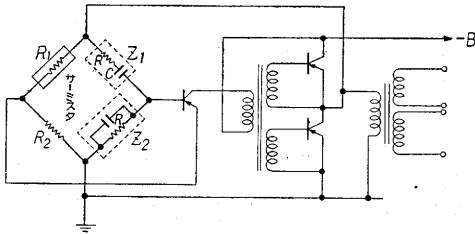
第1図 抵抗線歪計回路図

リード線にはテフロン樹脂で絶縁したシールド付電線を使用した。回路は第 1 図に示す。測定方式は ACブリッジ方式であるために回路は第 2 図のブロック・ダイアグラムに示したように出力段を含んだウィーン・ブリッジ



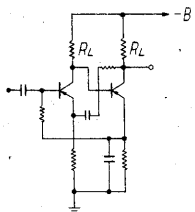
第 2 図 抵抗線歪計ブロックダイアグラム

型 RC 発振回路、ゲージ・ブリッジ部および整流位相弁別回路（復調回路）と低域濾波回路をふくむトランジスタ 5 段増幅回路よりなる歪増幅部で構成されている。各部について簡単に説明する。



第 3 図 発振回路原理図

搬送波発振部は第 3 図のように  $R_1$ 、 $R_2$  よりなる負帰還回路と  $Z_1$ 、 $Z_2$  (ウィーン型ネットワーク) の選択性正帰還回路および増幅回路が組合わされ、増幅部はエミッタ接地接続 2 段で出力段はシングル・エントド P.P. 接続より約 100mW の出力をとりだしている。この増幅部に  $R_1$  および  $R_2$  によって深い負帰還がかけられ、さらに選択性正帰還によって正弦波を発振させブリッジに搬送波電源を供給している。発振周波数 (3 kc) は正帰還回路の抵抗値を  $R$ 、容量を  $C$  とすると  $f=1/2\pi RC$  で決定される。発振出力 (約 2V) を安定化させるために、 $R_1$  サーマスタを使用する。ゲージ・ブリッジ部の抵抗バランス用の半固定抵抗はシャフトをロックナットによって固定し衝撃によってバランスのくずれないようにしている。容量バランスは設けていない。



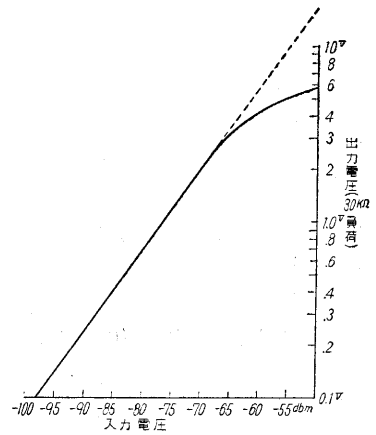
第 4 図 ユニットアンプの基本回路

歪増幅部は OC71 のエミッタ接地接続の 4 段増幅回路および OC72 P.P. 接続の出力段により構成される。OC71 の増幅段は高度の安定性を得るために第 4 図のように 2 個が一組になって交流的にも直流的にも大量の負帰還をかけ相互の動作点を補償し合って電源電圧や周囲温度変化の影響をうちけている。また負帰還のために SN 比も向上していて、増幅部全体の利得は相当高いにもかかわらず (max. 110 db) 雑音は問題にならない (-60 db)。また負帰還回路の抵抗を調整することにより増幅度を自由に変化することができる。

出力段はコレクタ接地接続 P.P. であるがこの動作点

およびコレクタ回路の直列抵抗  $R_{30}$  を適当に調整することにより出力電圧制限特性をもたせてある。これは FM/FM 多重テレメタリングの場合に、出力電圧が過大となり隣接チャンネルに影響 (cross talk) することを防止するためである。

第 5 図にこの制限特性を示すが、制限電圧は出力段の  $R_{28}$ 、 $R_{29}$  および  $R_{30}$  の定数を変化させることによって自由に変化させることができ、また  $R_{30}$  をとりのぞいて動作点を適当に調整すれば制限特



第 5 図 歪増幅部入力-出力特性

性はなくなり入力電圧の広い範囲にわたって直線性を果たすこともできる。破線で示したものが制限特性のない場合の特性である。増幅部の総合電圧利得は最高 110 db ~ 最低 20 db である。

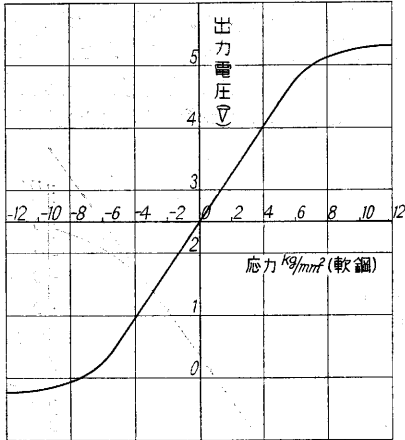
増幅部よりの出力は整流位相弁別回路を通して整流され歪の正負によって極性をもつ信号となり低域濾波回路を通して搬送波を除去してテレメータに送りこまれる。なおテレメータへの入力信号は 0~5 V の直流と定められているので本器では -2.5V ~ +2.5 V D.C. の信号に +2.5 V のバイアス電源を付加して 0~5 V D.C. の出力になおしてある。

### 3. 諸特性

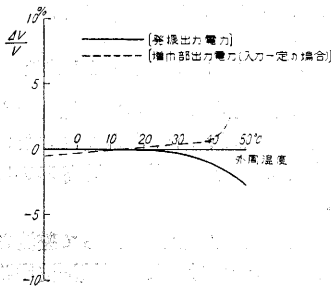
第 6 図に応力(歪)出力電圧特性を示す。横軸は軟鋼応力で換算してある。特性は完全に直線な部分と制限回路により出力を制限された部分とよりなり、曲線の部分があるがこれは第 5 図のような制限特性であるためで、完全なリミッタをつければ曲線部分はなくなるが回路が複雑になるので前述の方法をとった。この方法によれば特性は応力の大きい方で圧縮された形になるので異常な大応力がかかったときでも記録することが可能である。

なおこの感度は 0.1~2 V/kg/mm<sup>2</sup> の範囲で変化させることができる。出力は 0~5V の範囲で変化するから 2.5V が応力零の点である。

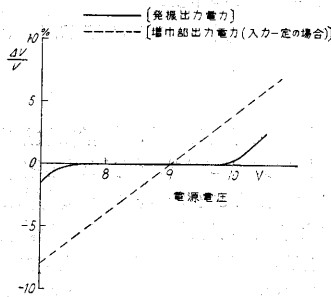
次に外周温度の影響について述べる。トランジスタは周囲温度に大きく影響される、温度の変化によって利得や雑音の量が変動する上に、ゲルマニウム・トランジスタでは周囲温度が約 60°C 以上に上昇すると破壊してしまう。そこで温度の影響に十分考慮をはらって設計することが必要となる。本器ではこの点に注意をはらって各部に温度補償対策を講じてある。各部の些細な説明はさけるが発振部においては安定用のサーミスタの果す役割は大きく、波形の整形作用、安定化とともに発振出力電



第6図 応力-出力電圧特性



第7図 外周温度の影響



第8図 電源電圧変動の影響

幅部の利得はほとんど直線的に変化(約0.5 db/V)する。したがって電源電圧はあまり変動しないことが望ましいことになるが、電源電圧が9V±1V変化したときに指示は±4%変化する。測定の精度をこの程度におさめるならば、電圧変動±10%以内の条件をそなえた電源の設計はさほど困難でなく一般のマンガン電池でも十分使用可能である。

この回路の電源電流は9Vのときに27mAである。したがって単四型乾電池を使用すれば連続使用で約50分間は9~8Vの範囲にある。変化はゆるやかであって数分間の測定中の指度の変化は眼ではみとめられない。

4. 測定結果

圧の温度補償を行っているのである。歪増幅部においては前述のOC71 2個1組の回路は互いに温度を補償し合い、出力段のコレクタ接地P.P.回路は温度に対して安定である。

発振部と増幅部の温度特性を第7図に示す。発振部と増幅部の両者が逆の傾向を示しているので影響は相殺され-10°C~+40°Cの範囲では温度変化による指示の変動は±2%の範囲内にある。

電源電圧が変化した場合の発振出力電圧および増幅部出力電圧(入力一定)の変化を第8図に示す。発振部はある範囲内では変化しないが増

テレメータによる記録は別稿のごとくであるが150TおよびV型の両機種とも飛しょうの全時間にわたっての応力測定に成功した。全トランジスタ化によって電源に余裕を持ったため、準備調整が割合に容易になった。またトランジスタ計器の飛しょう中の作動と性能も所期の通りでロケット用に適していることが判った。測定結果を整理すると一般に次のことがいえる。ただし測定回数が僅かであるので、判然とした結論を出すのが危険と思われる点もある。

(1) 一般に発射後から燃料の燃焼終了ごろまでの間に顕著な応力が生じており、それ以後はあまり大きな応力はない。したがって機体の強度振動上の問題は空力加熱を除いては推進燃焼終了ごろまでの検討を行えばよい。

(2) 発射直後にはランチャー離脱の瞬間にスリッパ脱落と地上横風の影響がそれぞれ記録に示されている。地上横風の影響は突風突入と同様の様相を示し、その後機体はしばらくの間縦揺振動をしている。これは機体の飛しょう軌跡上からも、また機体強度上からも最も重要な問題点の一つである。またランチャー上で最初の点火発進の衝撃により尾翼が固有振動を誘起されている記録も見られる。

(3) 燃焼中には縦揺運動に伴った応力変動が生じているが、その振動数は時間とともに増大している。これは速度の増加と燃料減少の結果である。

(4) 燃焼末期および燃焼終了直後に大きな不規則な応力が生じている。原因はよく判らぬが、推力のミスアライメント等が影響しているものと思う。この付近の機体強度上最重要の点の一つである。

(5) 応力は一般に約2kg/mm以下である。機体の荷重係数は最大2~3gである。燃焼中には時々機体の1次曲げの固有振動が誘起されている模様であるが、これは尾翼および胴体の強度にはほとんど影響がない程度のものである。ただし搭載品はこのことを考慮すべきであろう。

(6) 一般に地上および上空の気流が穏やかな時にはロケットの機体にはほとんど荷重がかからない。

このような結果は過去4回(31年2回, 33年2回)の実測の成果で、結論を出すのは早計であるが、ともかく実測によって初めて判然としたものである。若いロケット工学では実測が必要有効で設計上決定的なものであることが、いままさらながら痛感される。

(7) トランジスタ化歪計の試作は国内では初めてかと思うがロケット搭載用という付加条件を加えたむずかしい装置を期日内に作り実験し得たことは、富永助教授に負うところが多い、装置製作に当っては松下通信工業KK研究部の中村日色課長、曾根、松島技師に負うところが多い。なおこの一連の測定により応力測定も軌道にのりロケットの強度振動の様子もその一端をつかみ得たがこれについてSRの幹事、野村助教授、富士精密KKの板橋、垣見技師の皆様に謝意を表す。(1958.8.10)

文献:(1) 森 莊司: 生産研究 9.4, (1957)