

ベビー T テレメータ送信機

野村民也・黒川兼行・長谷川 毅

倉茂周芳・福島 茂・矢亀邦夫・小池光磨

1. 回路構成の概要

ベビー・ロケットに搭載するテレメータ送信機を設計するについて、当初に問題となったことは、極めて限られた容積と重量に対して、どのような方式を採用し、どのような構造としたら、所要の電子装置を組込むことができ、また、発射時における大きな衝撃加速度に耐えることができるかという点であった。

テレメータ送信機の方式としては、すでに解説したようにの時分割多重方式と周波数分割多重方式とに大別できる。この両者はいずれもそれぞれ特徴があつて、一概にいずれを採るのが良いとは結論されないが、要求される channel の数が少ない場合には、後者の方が、少なくとも経済的で有利であるとされている。今回の実験では、要求のあつた channel 数は3であつて、これにテレメータ送信機の動作を評価するための channel を加えても、全 channel 数は4であつたので、まずこの面から周波数分割多重方式を採用しようということとなった。

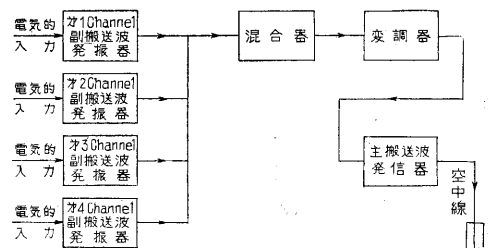
送信機としては、送信周波数をいくらに選ぶかは、種々の通信性能に影響する要因の一つとして大切な問題である。ベビーの場合には、容積および重量上の制約から、できる限り電源部分を小型、軽量化する必要があるが、そのためには、特に真空管の加熱電力を可能な限り切りつめることが問題であつた。送信管もこの見地から、現在小型、軽量という点で十分吟味されたラジオ・ゾンデ用のものを、もし機械的条件さえ充たしていれば、利用することが望ましいとされた。ゾンデ用の真空管を用いれば送信周波数は 400 Mc 帯ということとなる。すでに電波監理局の意向として、ベビーのテレメータには、気象援助業務局として、400~420 Mc のうちの一周波数を割当てる旨の示唆のあつたこと、ベビーの寸法が、空中線その他の構成を考えると、この周波数帯を使うに手頃であると認められたこと、また、製造担当者がゾンデ関係の仕事を通じ、この周波数帯の技術に十分経験をもつていて、短い開発期間を有効に利用できる利便のあること等の諸点から、結論として 400 Mc 帯の周波数を使うこととなつたのである。(電波監理局からの正式許可は 414 Mc であつた。)

主搬送波 (RF) の変調は、当初には振幅変調の予定で設計が進められた。電源を切りつめる結果、その安定

性が疑問視されていて、そのため主搬送波の周波数安定度も良くないものと予想されていたことが、他に二、三の経済的考慮とも絡んで、その理由であつた。しかし、その後試験段階において、振幅変調方式には種々の欠点があることが明らかとなり、また、懸念されていた電源についても、後述のように一応満足できるものが得られたため、途中で周波数変調方式とすることに設計変更が行われた。

周波数分割された各 channel の副搬送波を、測定量についてどのように変調するかは、雑音に対する性能からも、また、回路構成が経済的になる点からも、周波数変調方式にすることが絶対有利である。測定量をいかなる形で副搬送波変調器に入れるかについては、トランスデューサの開発に当たっている側とも打合せて、当初には、直流電圧の変化として入れる方式と、機械的変位として入れる方式を、それぞれ併用する案であつた。後者はそれによって副搬送波発振器のインダクタンスを変化して、機械的に周波数変調をかける予定であつたが、その実現を短い開発期間内で図ることは種々困難のあることが認められるに到つて、この方式は計画から除外された。結局各 channel 共、測定量は直流電圧の変化として入れるということに落ち着いたのである。

以上を総合すると、最終的にベビー用として纏つたものは、414 Mc、FM-FM 方式、4 channel のテレメータ送信機ということになる。これを系統図として示すと、第1図のようになる。



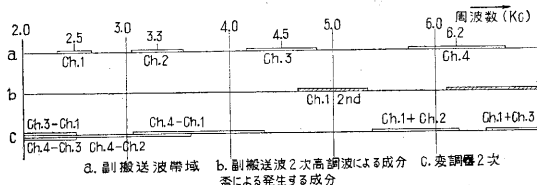
第1図 ベビーテレメータ送信機系統図

2. 副搬送波発振器

2.1 副搬送波周波数

副搬送波の周波数(中心)は、予想される各 channel の帯域に対し、2次歪にもとづく高調波と、結合波が、なるべく他の channel 帯域内に落ちぬことを目標に撰

定された。前節で述べたように、ベビーのテレメータ送信機では、容積および重量上の制約から、できる限り電源を節約する必要があって、このためには、真空管の陰極加熱電力も極力切りつめねばならない。したがって、真空管としては、直熱型サブ・ミニアチュア管の使用が、まずもって不可欠の条件になるといってよい。現在、この種のサブ・ミニアチュア管はわが国でも数種の製品が市販されていて、その内から所望のものを選べば、一応目的に適うものがえられる段階となっている。われわれが用いたN社の製品の場合には、電極の共振に基く顕著なマイクロフォニック雑音が、2 kc および 4 kc の近傍に存在することが認められていたので、副搬送波周波数の選定に当っては、予想される帯域内にこれらの周波数が落ちぬように考慮された。各 channel の占有帯域は、それぞれの副搬送波の最大周波数偏移を幾らとするかで決る。ベビーテレメータ送信機では、海外における例も参照して、中心周波数の $\pm 7.5\%$ を最大周波数偏移とすることとした。これらの因子から、4 channel の副搬送波周波数が選定されたが、その結果は、低い方から順に、2.5 kc, 3.3 kc, 4.5 kc, および 6.2 kc である。



第 2 図 周波数分布図

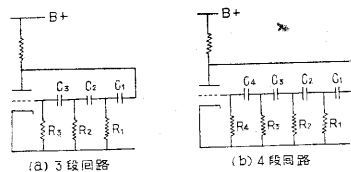
第 2 図は、各 channel の占有帯域と、2 次の歪にもとづく高周波および結合波の分布を示したものである。これから予想されるように、結合波まで考慮する限り、こうした成分が各 channel の占有帯域を完全に外れるようにすることは、各 channel の中心周波数の間隔を非常に広くとるか、さもなければ、各 channel の最大周波数偏移を小さくとるか以外には方法がない。これらはいずれも実用的には困難であって、したがって、こうしたことに基く漏話による誤差を小さくするには、歪のできるだけ小さい伝送を必要とすることとなる。漏話による誤差の限度を押えた時、どれだけの歪を総合的に許しうかは

主として信号弁別器の特性に絡んだ問題であって、この点はその際に触れることとする。

2.2 回路

ベビー用としては、できるだけ回路部品数を減らすことも大切な点であり、また真空管の数も節約を図るために、位相推移発振器の移相回路を形成する抵抗素子の 1 個を、別の真空管の内部抵抗で置き換えて、これに信号電圧を加えてその内部抵抗を変化し、それによって所要の周波数変調をうる方式を採用している。

周知のように、位相推移発振器には、抵抗並列型と容量並列型の 2 種があり、ここで目的としているもののように、比較的発振周波数が高い場合には、後者の方が有利であるとされている。しかしこうしようとすると、直列素子として抵抗が入る関係上、前述のように真空管の内部抵抗によって周波数変調をうる事が困難となってくる。そのため、このテレメータ送信機では、前者を採用している。



第 3 図 位相推移発振器

抵抗並列型位相推移発振器の基本回路を、第 3 図に示す。図示の (a) は 3 段の場合、(b) は 4 段の場合を示している。

移相回路の段数は、最小 3 段で、それ以上任意の段数が可能であるが、実用上はここに掲げた程度が限度と考えられる。

移相回路の段数が増すほど、その一段当りの位相推移は小さくてよいため、その中を通過する時の減衰が小さ

第 1 表 位相推移発振器の変調特性

α	0.5	1	2	3
$\omega^2 C^2 R^2$	0.091	0.167	0.235	0.265
所要増幅度	76	29	16	12.9
$d\omega/\omega$	0.455 (dR_1/R_1)	0.417 (dR_1/R_1)	0.382 (dR_1/R_1)	0.368 (dR_1/R_1)
	0.364 (dR_2/R_2)	0.333 (dR_2/R_2)	0.324 (dR_2/R_2)	0.324 (dR_2/R_2)
	0.182 (dR_3/R_3)	0.250 (dR_3/R_3)	0.294 (dR_3/R_3)	0.309 (dR_3/R_3)

4 段回路

α	0.5	1	2	3
$\omega^2 C^2 R^2$	0.385	0.700	0.898	0.951
所要増幅度	70.2	18.4	8.6	6.7
$d\omega/\omega$	0.331 (dR_1/R_1)	0.307 (dR_1/R_1)	0.282 (dR_1/R_1)	0.272 (dR_1/R_1)
	0.292 (dR_2/R_2)	0.257 (dR_2/R_2)	0.241 (dR_2/R_2)	0.240 (dR_2/R_2)
	0.215 (dR_3/R_3)	0.207 (dR_3/R_3)	0.221 (dR_3/R_3)	0.229 (dR_3/R_3)
	0.162 (dR_4/R_4)	0.229 (dR_4/R_4)	0.256 (dR_4/R_4)	0.259 (dR_4/R_4)

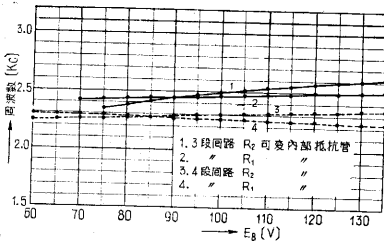
く、従って真空管の増幅度が少なくてすむ。また、同じ理由で、同一の容量、抵抗では発振周波数は高くなる。また移相回路を、後段（格子側）になるほど、インピーダンスが高くなるように構成すると、この回路内での減衰が小さくなるので、真空管の増幅度を小さくできることが知られている。（テーパ付位相推移発振器）⁽²⁾

移相回路の抵抗素子の一つを真空管によって置きかえるとして、どの素子をそれに当てるかは、一応検討が必要である。第1表は第3図の回路について、 n 段目の抵抗の変化率 (dR_n/R_n) に対して、発振周波数の変化率がどのようになるか、理論的に計算した結果を纏めたものである。なお、所要の増幅度と発振周波数が併記してある。表中、 α とあるのはテーパ率を示す。

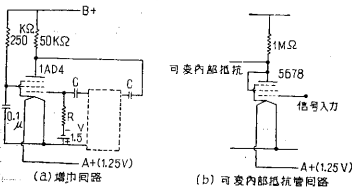
この解析からは、3段回路でも4段回路でも、変調感度の点は大差がないこと、テーパをつけることは、変調感度の点ではむしろ不利であること、変調に用いる抵抗は初段に近い方が有利であることなどが結論された。

移相回路にテーパをつけることは、少なくとも増幅度について相当有利になることを前提とすると、このように比較的周波数が高いことを目的としている場合には、回路素子の実現上から困難である。特に増幅度が十分えられる場合は、少なくともその有利さはないといってもよい。その意味で、回路としてはテーパのない（すなわち、各段共容量および抵抗値が等しい）ものを採用することとした。

副搬送波発振器としては、変調感度よりも、むしろ、電源電圧に対する周波数安定度の方が重要な意味をも



第4図 3段回路、4段回路の周波数の安定度

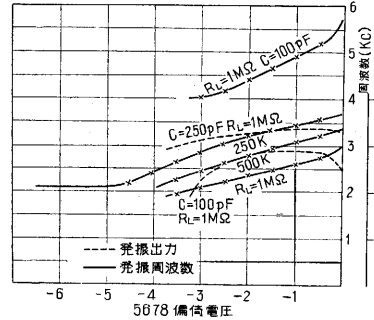


第5図

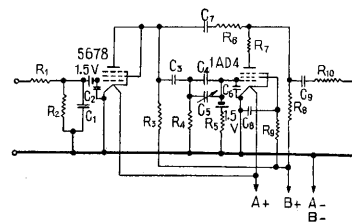
ている。したがって回路方式も、この点の検討を経てから決めるべきものである。第4図は3段および4段の回路について、その抵抗素子の一つを真空管の内部抵抗とした場合における陽極電源電圧の変化に対する発振周波数の変化を求めたものである。増幅回路は第5図(a)に示すような回路であり、内部抵抗を変化する真空管の回路は、同図(b)に示すようなものであった。

これから、3段移相回路で、初段の抵抗を真空管の内部抵抗で置換した場合が、最も安定であることが判明し

たので、これを採用することとした。



第6図 5678 負荷抵抗による変調特性の変化



第7図 副搬送波発振器

と同じである。

以上の結果から、結論としてえられた回路は、第7図に示すようなものである。使用真空管がいずれもサブ・ミニアチュア型の直熱管であるので、格子偏倚電圧を共通にすることができないため、0型の積層乾電池の素子を、直列に偏倚電圧電池として挿入している。

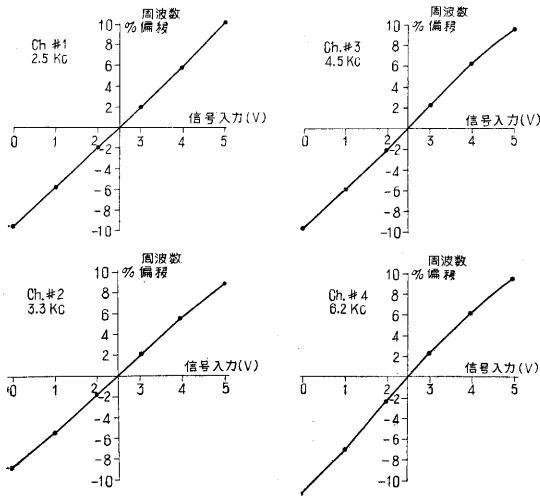
第7図で1AD4の陽極側から移相回路に行く処が、直接陽極からでなく、若干出力の下った処からとっているが、これは、発振出力の歪をなるべく小さくするため饋還率の調整を行っている部分である。あまり下げすぎでは発振が不安定となり、最適の点は1AD4のパラッキもあって個々のユニットごとにいちいち調整を要し、多くの手数を要した。また、各真空管の第一格子とフィラメントの間に小容量の蓄電器が入っているが、これは後に述べるように、RF発振出力の誘導を除去する目的で挿入された。このことのため、回路の漂遊容量が見掛け上大きく増加する結果となり、発振器の特性に大きな影響をこうむることとなったが、この点については別に述べることとする。

2.3 電気的特性

各副搬送波発振器への信号入力としては、約 500 kΩ の負荷抵抗に対して、0 ~ +5 V の電圧変化として与えられることに標準状態を定めている。したがって、周波数変調特性としては、0 V の時 -7.5%、+5 V の信号が加わった時 +7.5% のそれぞれ最大周波数推移となり、+2.5 V で中心にあるように調整する。この調整は +2.5 V を加えて中心を第7図のトリマー C₅ で、傾斜

第6図は内部抵抗を利用する真空管の回路について、その負荷抵抗が、変調特性におよぼす影響を求めた結果を示すもので、これから、負荷抵抗として 1 MΩ を使えば、変調の直線性は十分であることが結論された。この場合の増幅回路は、第5図(a)

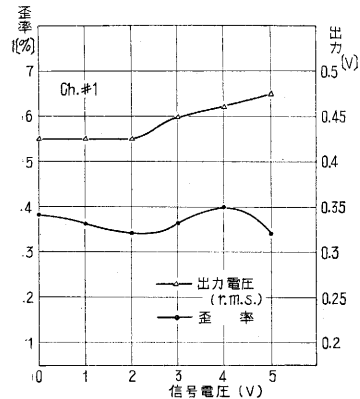
は、 R_1, R_2 の和をほぼ 500 k Ω に保ちつつ、その比を適当に変えている。



第 8 図 変調特性

第 8 図は 4 channel の副搬送波発振器について、それぞれ変調特性を実測した結果の 1 例である。上述の調整は、中心周波数はともかくとして、傾斜の方は完全に合わせようとする著しく手を要することとなるので、実用上差支えない程度の偏差は許容してある。(第 8 図はいずれも多少オーバ気味である)

第 9 図は、第 8 図の変調特性に対応して、出力の大きさと歪の変化を求めた 1 例を示している。歪は第 7 図の R_7 の調整でさらに小さい状態 (3%程度) とすることも可能であるが、



第 9 図 出力、歪の特性

こうすると、発振が弱くなる関係上、後述の RF 発振の影響が顕著となる。信号弁別器の特性から、1% の漏話を与えるべき信号対雑音比 S/N は約 10 db で、これから推して上記の程度の結果であればまず支障はない。また、出力変化は 0.8 db であって、これも信号弁別器の方の制限特性からみて全然問題とはならない値である。

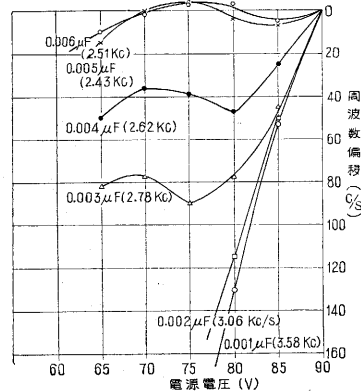
ペーテレメータ送信機では、構造は後述のように、各ユニットごとに 1 個の皿状容器内に各部品を収納し、これをまとめて、その外側を帯状の金属板で固定するようになっている。皿状容器はペークライト製であり、このため、狭い空間に各部品を収納するには、すこぶる好

都合であった。しかし、一方このように構成材料がほとんど絶縁物であったことから、RF 発振器まで一組として纏めて動作させると、RF 信号が、副搬送波発振器の各段を初め、変調器等にのってきて、これがそれぞれの真空管の動作を阻害するという、予期しない結果を招来することとなった。都合のわるいことには、テレメータ送信機の全長が約 30 cm で、使用周波数に対してはほぼ $\lambda/2$ に近い。そのため簡単なシールドは、かえって部分的に RF 信号の電位の山をつくることとなり、その附近におかれた副搬送波発振器の発振が停止するような結果となることもあった。

結局、いくつかの方法を試みた結果、ほぼ満足の行く解答となったのが、第 7 図に示した C_2, C_6 を挿入して、格子に誘導している RF 成分をバイパスする方式であった。この方式は簡単で、しかも非常に有効であったが、一方、 C_6 が移相回路に対して対地漂遊容量を増加するように作用するため、特に副搬送波の高い方の発振器に対し、種々の悪影響をもつ結果を招いた。

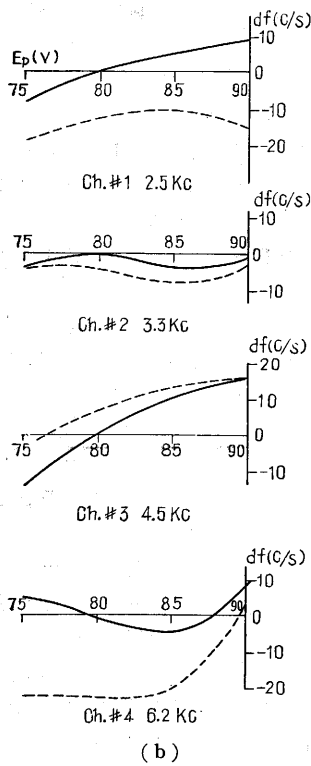
第 1 表に示した 3 段発振回路の所要増幅度 29 ($\alpha = 1$ の場合) というのは、増幅管の出力インピーダンスを無視した値である。第 7 図の回路で、この影響を考えると、所要増幅度は約 42 となる。これにさらに対地漂遊容量による位相の遅れが加わると、所要増幅度はさらに高くなり、遂には発振不能の程度になりうるのである。RF 信号のバイパス容量は極力小さく選んであるとはいえ高い方の周波数では、なお相当の位相遅れを与えることが認められ、上記のような意味で発振不能乃至は不安定をきたす原因となった。

この対策として、例えば部分的に移相回路にテーパをつけることで、発振周波数にあまり影響なく、所要増幅度を下げる方法なども試みられたが、いずれも特に有効ではなかった。結局、最終的に採用されたのは、1 AD 4 の遮蔽格子回路のバイパス容量の値を適当に選ぶことにより、遮蔽格子回路のインピーダンスとその自己饋還作用を利用して、位相を進め、これによって漂遊容量に基く遅れ分を補償して、所要増幅度を下げる方法であった。遮蔽格子回路のバイパス容量の値によって、当然発振周波数も変化するが、これは移相回路の定数を変更しつつ調整すると、適当な点



(a)

では、発振周波数の安定度も良くできることも判明した。(第10図(a))



(b)

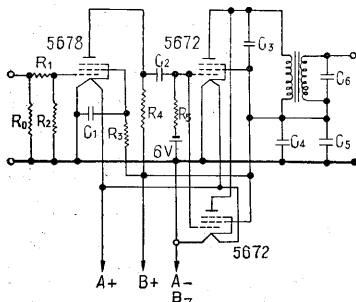
第10図 副搬送波発振器周波数弁別器

第10図(b)は各副搬送波発振器について、中心周波数の電源電圧に対する安定度を求めた1例で、80Vで中心周波数に調整し、電源電圧の変化に対し、それからの周波数のズレを示している。

実線はRF発振器の発振を停めた場合、点線は発振させた場合の結果である。ここには前記の諸調整の種々の結果が現われている。3.3kcのものは、遮蔽格子バイパス容量の値の選定もよく、RFバイパス容量の作用も十分効いていることを示す。2.5kcのものでは、遮蔽格子回路

の調整はほぼ良いが、RFバイパスの作用が多少悪い。4.5kcのものは、遮蔽格子回路の調節がやや不良で、一方RFバイパスは良好に作用している。6.2kcのものは、両方共やや良くない結果となっている。ただし、ここでやや不良といっているのは、3.3kcのもののように非常に良くいっている場合と比較してのことであって、このうちもっとも良くないものでも、80V中心に±5Vの電源電圧変化に対する周波数変化は+0.29%~-0.4%程度であって、また、RF発振による周波数変化も±0.26%で、実用上の支障はない値であった。

3. 変調器



第11図 変調器回路

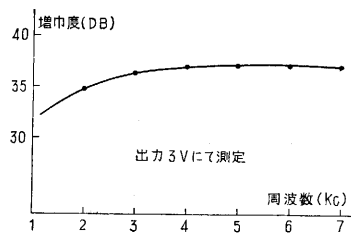
前述のように、ペビーテレメータ送信機の変調は当初振幅変調を予想して設計が進められた。従って変調器の回路は第11図に示すように、振幅変調を目標とした回路となっている。

振幅変調方式を放棄した理由は、後述するように電源部分の特性が比較的安定したものとなって、そのため、当初懸念されたRF周波数の変動も少なく、したがって原理的に有利である周波数変調方式の採用が可能となったこともその一つである。それ以外に、十分な振幅変調度(40%以上)をうるためには、少なくとも励振振幅として20V程度が必要であって、これだけの信号を加えると、陽極変成器変調では、著しいFM(最大周波数偏位約3~4Mc.これは空中線の結合状態で多少変化する。)が付随する結果となり、受信機の帯域特性の点から復調信号に著しい歪を生ずることが明らかとなったためであった。

このテレメータ送信機では、当初設計された振幅変調用の変調器をそのまま利用し、ごく浅い振幅変調をかけることによって、それに付随する周波数変調をとりだす方式となっている。振幅変調に伴う周波数変調の深さは、発振回路に対する空中線の負荷状態によって、大きな影響がある。後述のように定められた空中線を負荷した状態で、最大周波数偏移が±300kcになるよう、変調器入力信号電圧の調整を行った。

変調器の初段は、4channelの副搬送波出力をその格子側で混合し、電圧増幅する。すでに第7図で示したように、副搬送波出力は、副搬送波発振器出力側で、十分レベルを下げ、そのまま出力端を4channel共、共通に接続しても相互の干渉はないようになっているが、さらに、その先に各100kΩの抵抗を直列に挿入し、これと変調器入力のR0(第11図)とで、もう1段緩衝作用をもたせてある。最大周波数偏移はこのR0を適当に選定することによって、前記の値に調整される。

前記の最大周波数偏移をうるに必要な出力信号は、個々の場合で多少異なるが、約6V(r.m.s)の程度であり、この部分の歪率は3%程度である。



第12図 周波数特性

第12図は変調器の周波数特性を示す。(偏差1.5db以下)変調器は前述のように振幅変調を目的として設計されたものであった。

したがって、このような使い方をすれば、回路的には若干節約の余地があると考えられる。

4. RF発振器

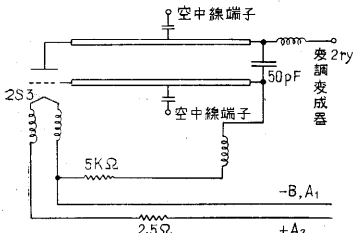
現在ラジオ・ゾンデ用として使用されている送信管の1種である2S3を用いたレッチェル線発振器である。第2表は2S3の標準規格である。

この真空管を用いたのは、前述のように陰極加熱電源の節約が目的であった。元来、ラジオ・ゾンデはその飛

第2表 2S3 規格

E_p	I_p	E_g	E_p	I_p	μ	g_m	r_p
V	mA	V	V	mA		μU	Ω
2.0	160	-4.0	90	11	8.5	2700	3150

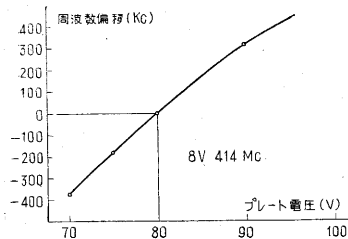
翔状況から考えて、特にロケットのような大きな衝撃はかからない。したがってこの種の真空管は、別に耐衝撃性を考慮した設計とはなっておらず、その機械的強度は当初より最も懸念された点であった。これについては後述のように、各種の加速度試験が十分行われ、その結果、十分実用に耐えることが判明したので、採用することとなったのである。



第13図 R F 発振回路

発振器回路は第13図に示す通りであって、特徴は別がない。空中線との結合は、空中線への電流の乗り方が適当となり、それによって空中線の指向性が望ましい形を示すような適当な饋電点をレッヘル線上に探し、そこから容量結合になっている。

空中線電力は測定の方法がなく実測されていない。発振器に整合された豆球を負荷した場合、出力は約 0.2 W (能率 13%, 電源電圧 90 V) であった。これから推定して、空中線から輻射される電力は、0.1 W を割っていたものと思われる。



第14図 R F 発振器周波数安定度

第14図は R F 発振器に如上の空中線を負荷した状態における、電源電圧対発振周波数の変化の1例を示す。なお発振周波数は、レッヘル線の短絡蓄電器の取付位置と、レッヘル線間隔とにより所望の値に調整されるようになっている。

5. 送信空中線

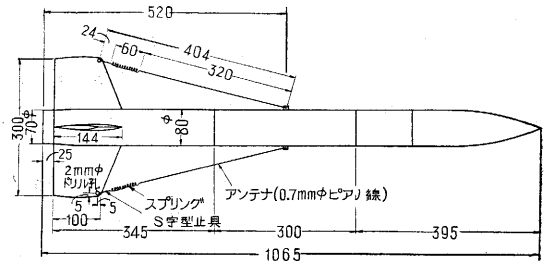
テレメータ送信機の送信周波数とロケットの形状が与えられ、しかも、飛翔時における空気抵抗に耐えることを前提とすると、ペビー T に対して装備しうるアンテナの形状はおのずから制限されたものとならざるをえない。ロケットの航跡および飛翔姿態のいかんにかかわらず、地上に置かれたアンテナで受信しうするためには、ロケットのアンテナとしては無指向性のものであることが理想的であるが、このようなアンテナの実現は原理的に不可能である。

発振器回路は第13図に示す通りであって、特徴は別がない。空中線との結合は、空中線への電流の乗り方が適当となり、それによって空中線の指向性が望ましい形を示すような適当な饋電点をレッヘル線上に探し、そこから容量結合になっている。

第14図は R F 発振器に如上の空中線を負荷した状態における、電源電圧対発振周波数の変化の1例を示す。なお発振周波数は、レッヘル線の短絡蓄電器の取

ペビーの場合、受信点をロケットの航跡に対し、どのような位置におくべきかは、当初よりかなり議論されたところであった。与えられた受信空中線の指向性から、発射より落下までの間の受信を可能にするためには、ロケットの後方より狙って、ロケットが最高点を過ぎてからは、必要に応じて、受信空中線の仰角を減らし、可能な限り、ロケットに受信空中線の方向を一致させるべきであろうとの結論であった。

如上の方針の下には、ペビー T の送信アンテナとしては、できるだけロケットの尾部の方向にエネルギーを輻射し、しかも多少のズレに影響されぬよう、指向性のあまり鋭くないものが要求された。この要求をできるだけ満足させるために多くの実験を行った結果、第15図に示すようなアンテナ系が採用された。

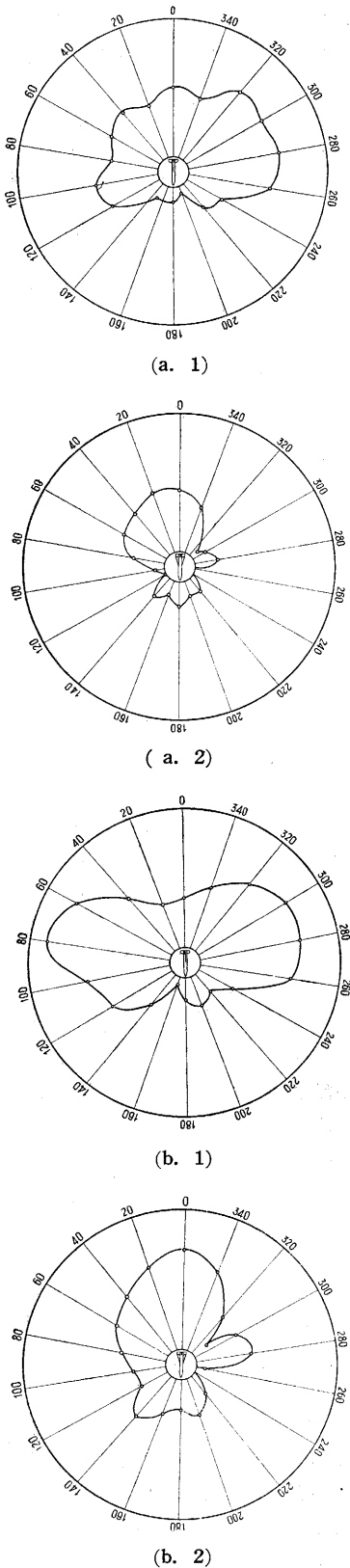


第15図 ペビー T 送信アンテナ

アンテナと R F 発振器との結合は、前述のように容量結合となっている。アンテナの指向性を上記のような形とするためには、アンテナ上の電圧分布として、付根の点で高く、エンジン部との境目付近で節があり、スプリングの少し手前に腹が位置し、スプリングの位置では多少電圧が下り目になるように調節される。テレメータ送信機の構造は、皿状容器が4本の金属支柱によって固定されており、この金属支柱の長さが半波長に近いので、そこに高周波がのっている。テレメータ送信機を収納しているロケットの平行部分は、ポリエステルで作られているため、これら支柱とアンテナとの結合、および支柱自体からの輻射によって、発振回路とアンテナの結合が不相当であると、指向性が全く滅茶々なものになってしまう。このため、個々の送信機について、電圧分布が前述のような様相を示し、かつ、両側のアンテナにはほぼ同大の電圧がのるよう、結合点を調節する必要があった。当初には M 結合も試みたが、こうした調整が困難であったため、容量結合に切換えられた。

以上の調整は個々の送信機について完全に行うことは困難で、そのため、送信アンテナの指向性は、必ずしも同一とはなっていない。そのうち2例を挙げると、第16図 (a), (b) のごとくであり、他も大同小異の指向性であった。これらの指向性は、ほぼ前述のような要求を満たす結果となっている。

なお、送信アンテナの設計にあたって、初めは適当な



第16図 送信アンテナ指向性

長さの空中線を、碍子を介して尾翼に引き止めにする考えであった。これらの構造上、あるいは碍子その他が、ロケットの飛翔性能に悪影響をもちほしなかが懸念された。碍子は可及的小型のものを選んだが、風洞実験の結果は、飛翔抵抗の増加も、飛翔安定度にも悪影響のないことが確かめられた。その後、第15図のスプリングは、元来はアンテナ線に適当な張力をもたせるためのものであったが、これが電氣的に高周波チョーク・コイルとして有効に作用することが認められるに及んで、碍子の使用を止め、第15図の構造となったのである。

アンテナ線の方法についてはいろいろの議論もあるが、ペビー-Tにおいては、万一の場合を考慮して、0.7mm ピアノ線を用いた。

6. 電源

ペビー用テレメータ送信機に

必要な各電源を、各別に示すと、下表のようになる。

第3表 各種電源 (* 1ch 当りの電流)

	V_f	I_f	$E_p(\text{min})$	I_p
副搬送波* 発振器	1.25 V	150 mA	80 V	1 mA 以下
変調器	1.25 V	150 mA	80 V	15 mA
R F 発振器	2.0 V	160 mA	80 V	22 mA

一般に航空機も含めて、機載の電子装置の電源供給法としては、a) 別の動力により発電機を運転する。b) 2次電池により電動発電機を運転する。c) 2次電池によりバイブレータを駆動、交流をうる。d) 2次電池をそのまま用いる。e) 1次電池を用いる。等の諸方法がある。a) または b) は安定した電源を供給しうる点で優れているが、ペビーの場合には、重量、容積の点から採用し難い。d) は現状では2次電池の構造上の難点と、重量の点で、やはりペビー用としては不適当であり、従って c) の方法もこの点で利用できない。また c) ではバイブレータが現在衝撃加速度に弱く、安定した動作が期待できない欠点もある。結局、ペビーとしては、e) の1次電池を適当に組合せて用いる方法以外に、容積、重量の制限に対して利用しうる途はない。

元来電池は、数時間乃至数十時間にわたって、一定規格内の端子電圧を維持するように、定格放電電流が定められ、また、それに応じた設計がなされている。ペビーの場合には、飛翔時間は1分足らずであって、電池としては、僅々数分間必要な電圧を維持すれば十分である。このような短時間の動作に対しては、現在の電池メーカーは、確たる設計基準をもたぬ現状である。少なくとも現在の電池が、所要の定格放電電流および端子電圧に対して、できる限り長寿命を目標として設計基準を与えている以上、第3表に示した所要電力を満しうる電池を、定格値として求めることは、容積においても、重量においても著しく損なうことである。結局、これら所要の電力を、電池の定格としては過負荷の状態消費して、所要の時間範囲にわたり、ある限度内の電圧変動をもって端子電圧を維持しうるようなものを探ることになる。電池メーカーとしてはこうした過負荷放電というようなことは問題としていないので、その方面から多くの資料は期待できず、結局は実験の結果から定めざるをえなかった。

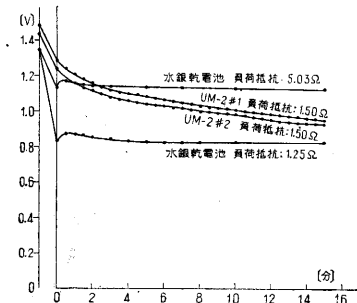
通常の乾電池は、いわゆるマンガン電池であるが、これ以外に、数種の電池が調査された。以下、それぞれについて、その概略を述べる。

a) 水銀電池

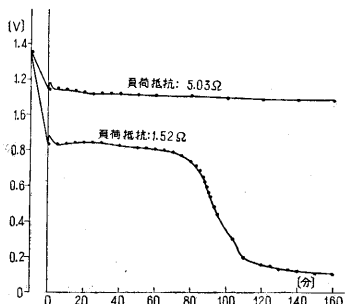
減極剤として酸化第2水銀と少量の黒鉛を混ぜたものを用いた乾電池で、例えば Mn 単1電池程度の定格のものでは、容積で $\frac{1}{3}$ 、重量では $\frac{1}{4}$ 位に小型になる。端子電圧は 1.34 V。主として A 電池用であるが、積層

構造としてB電池も作りうる。ただし、Mn 積層に比べると容器が鉄製であること等の理由で、重量、容積共不利である。

水銀乾電池 RM-12 型について、定抵抗放電を行った結果を第 17 図に示す。同時に掲げた Mn 乾電池 UM-2 型 (単 2 型) と比較すると、端子電圧の安定度もよ



第 17 図



第 18 図

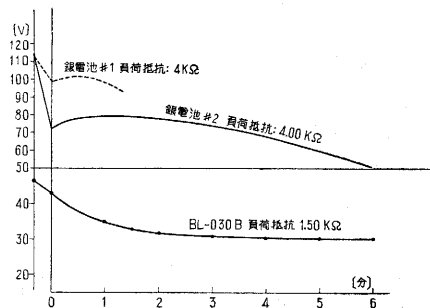
く、また長時間放電特性 (第 18 図) からみても、電圧の終点が明瞭で、電池としては優秀な特性である。ただ内部抵抗が Mn 電池と同程度であるため、電圧降

下が大きく、元來定格端子電圧が低いため、その分だけ損である。ベビー-Tテレメータ送信機程度のA電源としては、第 17 図の UM-2 型の特性程度であれば、安定度は十分

b) 銀電池

保存性よく、放電電圧が閉路後ほとんど平坦であり、また過負荷にもよいとされている。無負荷状態で端子電圧は単位当たり 0.9~1 V、比重 2.3~2.5 で小型、軽量の電池を実現できる可能性があるといわれる。

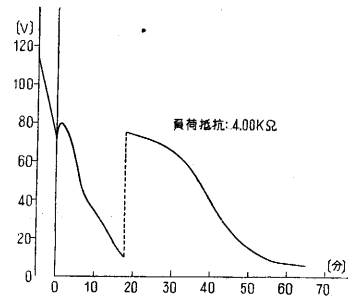
この電池の性能試験のため、端子電圧 120 V、負荷電流 25mA、ベビーの飛行性能を考慮にとつた積層電池の試作が行われた。当初は A 電池も試験の予定であったが、この方は試作が間に合わず、結局 B 電池のみ試験された。



第 19 図

第 19 図は 4 kΩ 定抵抗放電の場合の特性である。同図に掲げた Mn 積層電池 (BL-030 B 型) と

比べると閉路直後の電圧変動が小さい点に著しい特徴が見られる。ただし、第 19 図点線は、同種電池の試験結果として、メーカーより寄せられたデータであるが、その差



第 20 図

が激しいことと、また第 20 図はその長時間放電特性であるが、途中で急に電圧の回復が見られ、特性自体はともかくとしても、このような現象から電池の信頼性がいまだ十分と

はいえないものと判断された。この電池の試作は、飛翔時間約 1 分ということを念頭に、1 分間所要の電圧を維持することを目標として行われたもので、第 19 図の結果はほぼその意図を具現しており、その意味で将来、十分の期間をかけて開発に当れば、相当経済的 (重量および容積の点で) なものができる可能性のあるものとして期待できる。

c) 注液電池

B 電池もできているが、取扱い上に難点があって、ロケット用には適さぬようである。A 電池としては、ユニットの電圧が 2.5 V で、ラジオ・ゾンデ用として、低温にも耐えるものが開発されている。定格に応じて種々の型があり、放電特性も良いが重量がかさむことと、構造上、ロケットが異常な姿態となったとき、電液のもれる恐れがあって、実用上の期待はかけられなかった。

d) 注水電池

注水式であるから取扱いは比較的楽である。5~7 分浸水して水を切り、3 分放置し、たまった水をきる。負荷をかけると、30 分で次第に電圧が上昇して一定値となる。100~115 V、4 kΩ 定抵抗放電で 60 分以上持続するものがあるが、重量の軽い点は良いが容積はかさむ欠点がある。また、加速度に対し弱点があって、ロケット用には疑問が多い。

e) マンガン電池

普通乾電池として最も普及しているものであるが、現在の市販品は、いずれも長時間定格で作られており、短時間、過負荷特性については当初かなり懸念されたが、種々試験した結果、一応目的に適うものがえられたので、ベビーの電池はすべてこれでまかされた。

すでに第 17 図や第 19 図にその一部を示した通り、市販の Mn 乾電池は、過負荷放電に対し、閉路の直後数分間は著しい電圧降下を示すが、その後、暫時、かなり平坦に近い端子電圧を維持する。第 17 図の UM-2 電池では閉路後 5 分以降、10 分以上にわたって電圧変化は、-0.015 V/分 (約 -1.5%/分) 程度であり、また第 19 図

の BL-030 B 型では、同じく閉路後 5 分以降、10 分以上にわたって端子電圧変動は、 -0.08 V/分 (約 -0.25% /分) 程度である。この結果から、閉路直後はともかくとして、適当な時間を経過した後を利用すれば、Mn 電池も十分実用の可能性があることが認められた。また、Mn 電池はその普及の程度から推して、比較的特性の揃ったものを大量に入手するに便利であり、この意味からも、その使用は望ましいことであった。

ペビー T の送信機としての特性からの要求と、収納しうる容積上の制約とから、最終的に採用された電池の組合せは下記の通りである。

- B 電源 BL-030-B 3 個直列
- A₁ 電源 UM-2 A 2 個並列
- A₂ 電源 UM-3 A 2 個並列

A₁ 電源は副搬送波発振器および変調器のフィラメント加熱用、A₂ 電源は A₁ 電源と直列にして RF 発振器のフィラメント加熱用に用いる。ただしこれでは、RF 発振管のフィラメント電圧 2.0 V を上廻るので、直列抵抗を介して加える。なお、各電池のそれぞれの定格、容積、重量は下表に示すようなものであった。

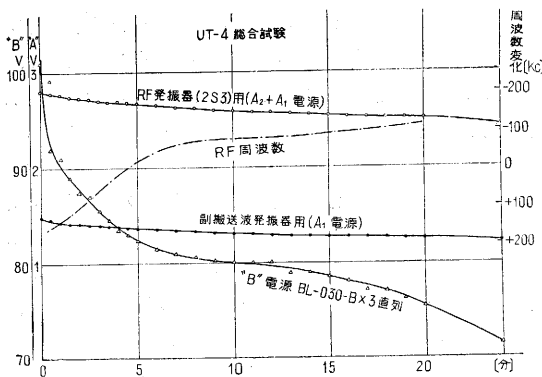
第 4 表 電池の規格

	定格電圧	定格放電抵抗	放電時間	容 積		重量*
				(1)	mm	
BL-030-B	45.0 V	20 k Ω	20 hr	17 \times 28.5 \times 60	50 gr	
UM-2A	1.5 V	10 Ω	6 hr	25 ϕ \times 48	50 gr	
UM-3A	1.5 V	10 Ω	1.5 hr	13.5 ϕ \times 50	14 gr	

* 実測値、他の数値は JIS 規格値

(1) 終止電圧 30 V に至る時間 (2), (3) 終止電圧 0.85 V に至る時間

前掲第 3 表の数値から考えると、A₁, B 両電源は定格放電電流の数倍乃至十数倍の過負荷となっている。



第 21 図 電池放電特性

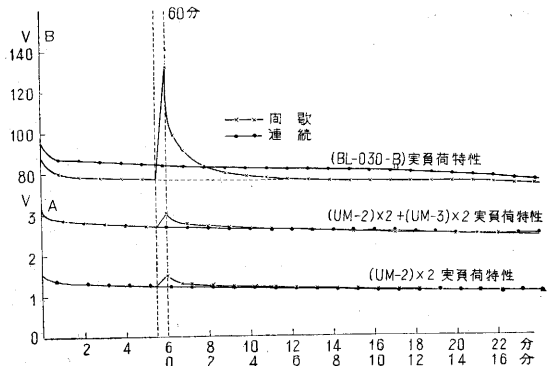
第 21 図は上記の電池をテレメータ送信機に実装した場合、電源スイッチ閉路後における各部の電圧変化の記録である。B 電圧は閉路後約 10 分で安定し、その付近での変化率は -0.2% /分 (約 -0.25% /分) 程度、端子

電圧は約 80 V である。A₁ 電源は 10 分後に 1.3 V、変化率は -0.01 V/分 (約 -0.8% /分)、A₂ 電源は 10 分後に 2.6 V となり、変化率は -0.01 V/分 (約 -0.4% /分) で、いずれも充分な安定度を保っている。同図には同時に RF 発振器の発振周波数の変化 (414 Mc よりの偏差をもって示す) が記入されているが、上記の電源で、閉路後 10 分程度を経過すれば、満足すべき程度の安定度に達することが見られよう。

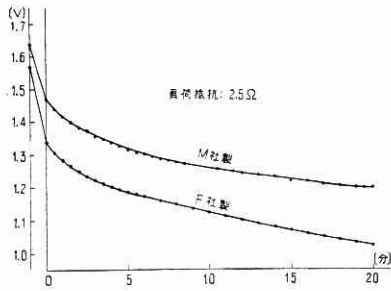
ペビー T の飛翔に当っては、個々の送信機について、各消費電力に多少の差異があるため、電池の放電特性は個々について若干の違いがでてくる。そのため、新しい電池を実装し、一度 15 分程度まで放電し、個々の器材について、RF 発振周波数、副変調波変調特性その他を求めておかねばならない。一度このように放電させた電池は、再度の使用には耐えぬようになるので、飛翔時には、また、新しい電池を実装しなければならない。新電池の実装後、誤配線の有無その他の Check に数分の放電が行われる。ロケットがランチャに装填されるのは、それから大分時間を要するため、スイッチを一たん切る必要がある。このように、実際の負荷は間歇的に加わることになるが、その場合の放電特性を第 22 図に示す。

第 22 図はスイッチ閉路後 5 分間放電を行い、一度スイッチを開いて 1 時間放置し、再びスイッチを入れた場合の総合した放電特性である。スイッチを開くと、電圧は再び相当上昇するが、再度スイッチ投入後の端子電圧の降下は比較的すみやかに行われる。同時に掲げた特性は連続放電のもので、これと対応してみれば、結局、このように間歇的に放電しても、それぞれの消費時間の和だけ連続に放電したのとはほぼ同じ端子電圧に落ち着くことが分る。もちろん再閉路直後は著しく異なるが、5 分も経過すれば以上のようなことになる。この事実によって、飛翔に際し前記のような手順をとりうることとなったのである。

第 23 図は製造者の異なる同一種の電池を、同じ状況で定抵抗放電した結果である。すでに開路電圧からして



第 22 図 間歇放電特性



第 23 図

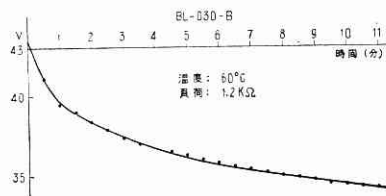
両者は異なっていたが、さらにこの図より明らかなように、内部抵抗もF社のものはM社のものに劣る点が見られる。製造者によって放電特性はかなり異なるようであるが、同一製造者による製品では、放電特性は同一状況で試験する限り、開路電圧の差程度の差で、ほぼ並行な形状を示す。

テレメータ送信機の底部は、エンジン部の上端に近く位置している。その部分に電池がおかれるので、電池の温度が上昇する可能性があり、これが特性におよぼす影響が懸念された。もちろん、飛翔時間が1分不足であること、直接電池がエンジンに接するものではないので、余り大きな温度上昇は考えられないが、念のため、電池の温度上昇時の特性も試験された。

第5表 電池温度特性

電池		温度					註
		20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	
UM 3	A	1.60 (0)	1.00 (1.2)	1.62 (2.5)	—	—	1. 指示値は開放定常電圧Vにて示す 2. 括弧内は20°C電圧に対する変化%にて示す。 3. 一部は他実験に使用の為割愛す。
	B	1.58 (1.3)	1.6 (2.5)	1.62 (3.2)	1.63 (3.2)	1.63 (7.3)	
UM 2	A	1.50 (3.3)	1.55 (6.7)	1.60 (7.3)	1.61 (7.3)	1.61 (7.3)	
	B	1.50 (4.7)	—	—	—	—	
BL 030 B	A	46.0 (0.5)	46.3 (1.5)	46.7 (1.5)	—	—	
	B	46.0 (0.2)	46.1 (3.7)	47.7 (4.3)	48.0 (4.3)	48.0 (4.3)	
	C	46.0 (1.5)	46.7 (3.5)	47.9 (4.1)	48.0 (4.3)	48.0 (4.3)	

第5表は各温度に対する電池電圧の変化を求めた結果で、表中A, B, Cはそれぞれ各電池の試験サンプルを示す。温度上昇と共に端子電圧は上昇するが、その程度は数%で、当初懸念されたほどではな



第 24 図

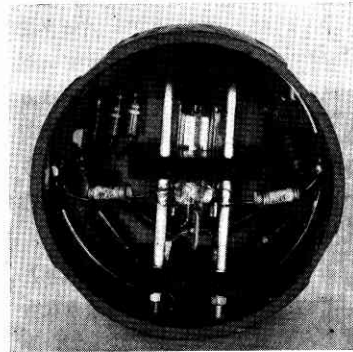
かった。また第 24 図は温度上昇時における放電特性の1例であり、これも特に常温時と比較して著しい差異は認められない。

7. 構造

ベビーTテレメータ送信機には、電源を含めて電気部品が約130個ほど使用されている。限られた容積に対し

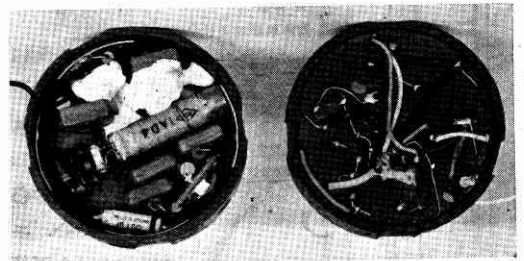
いかにこれらを組込むかが問題とされた。

ベビーTにおいて、テレメータ送信機は平行部に組込まれる。平行部は、外径80mm、内径75mmのポリエステル製の筒であるが、その両端に先端部とエンジン部の取付金具のあるため、テレメータ送信機としては、外径69mm以下に押さねばならない。また、全長も底面部がエンジン上面に接触せず、かつ、放射熱の影響をも考慮すると、そこに相当の隙間を設ける必要があって、247mm程度が限度となる。

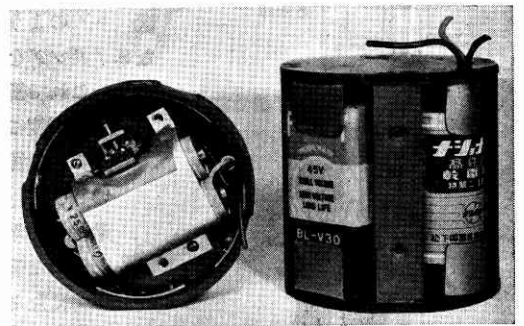


第 25 図 (a) R F 発振器

以上のような要求を満すものとして採用された方式は、各部をそれぞれ別々に第25図(a)(b)に示すようにベークライト製の皿状容器に収納して組立て、これに第26



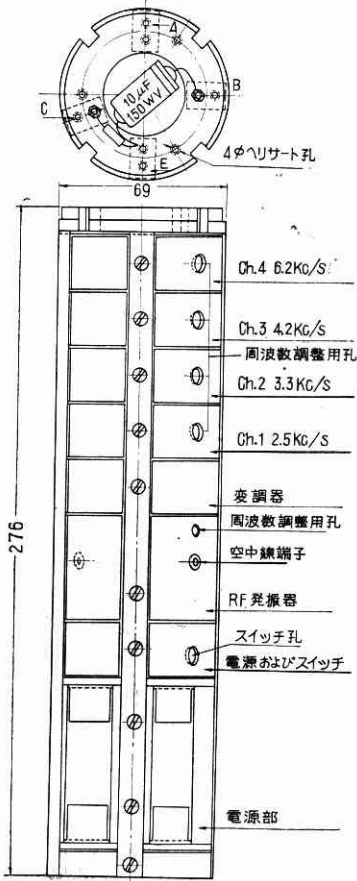
第 25 図 (b) 副搬送波発振器



第 26 図 電源部

図の電源部を加えて、それらの外側を4本の支柱で固定し、第27図のように纏めるものであった。各部を別々にしたのは、もし部分的に不良の要素ができたときは、そこだけ交換が容易にできることを考えたもので、そのため、4本の支柱は、機械的強度を受持つと同時に、各電源(B+, A1+, 地線)を各部に供給し、また副搬送波出力を混合し変調器に加えるための導線の役目をも兼ねるよう工夫された。このような皿状容器に収納すること

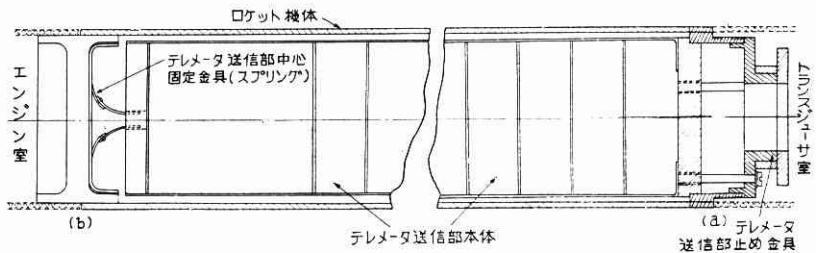
により、空間の利用率は平面的に各要素を構成するに比し、はるかによくできる。さらに工夫すれば、われわれが実現したよりさらに小型に纏めることは可能であると考え



(a) テレメータ送信機組立図



第27図 (b) テレメータ送信機写真



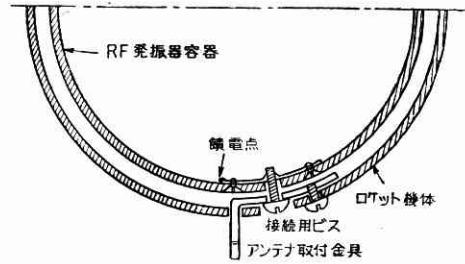
第28図

られる。

テレメータ送信機のロケットへの取付けは、衝撃加速度に対し強度をもちうることに、工作上的の考慮から、第28図(a)に示すような金具によって、平行部と先端部との取付金具をくわえるようにし、これに送信機が宙吊りされるような形とした。送信機の心を出すため、エンジンの上面部に対して第28図(b)のようなスプリングをおき、これで衝

撃加速度による送信機の延びが、送信機に対し過大な衝撃力にならぬように工夫された。(註)

各皿状容器を組立てる場合、それぞれの間にはフェルトをはさんで、衝撃力



第29図

を幾分でも吸収するようにした。アンテナは、並行部に第29図のような金具をとりつけ、RF発振部のアンテナ引出口とこの金具とをビス止めとし、金具にアンテナ線の一端を巻止め、ハンダ付けし、これと尾翼との間で、スプリングを介して引止めにした。アンテナ線の張力は直接テレメータ送信機には加わらぬようになっている。

テレメータ送信機各部の重量は下記の通りである。

副搬送波発振器 (1ch. 当 70 gr)	280 gr
変調器	100 gr
RF発振器	85 gr
A ₂ 電源および電源スイッチ	70 gr
A ₁ , および B 電源 (取付枠板)	350 gr
支柱および上・下押板	120 gr
送信機取付用金具	110 gr
組立ビス (40本) およびフェルト	25 gr
合計	1,140 gr

なお、参考までに付け加えれば、皿状容器は第25図(a)のものが約22gr、(b)が36grである。

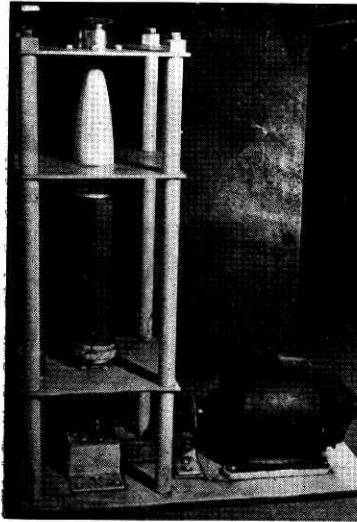
8. 機械的試験

当初において、衝撃加速度に対して最も懸念されたのは、RF発振管 2S3 を初め各部に用いてあるサブ・ミ

(註)この構造は、本所、池田、平尾両教授のご示唆による。

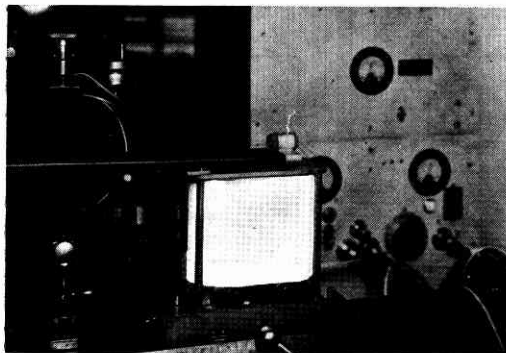
ニアチュア真空管の強度で、そのため、その試験は充分に行われた。

ベビー T の発射時の最大加速度は 40~50 g ということであった。そのため第 30 図に示すような回転型加速装置を作り、(註) その周辺に真空管を各軸方向に取付け、毎分 3,600 回転まで試験した。試験は冷状態およびフィラメント加熱状態の双方で行った。真空管取付位置は中心より半径 4 cm のところにあり、もちろん加速度は部分的に一樣ではないが、最高回転数において、40~60 g の定加速度がかかる。この試験では各真空管共異常は認めなかった。



第 30 図 回転型加速試験装置

真空管は軽量であるため、容易に振動試験が可能である。沢井教授の試作による共振型疲労試験機⁽³⁾を利用し、振動鋼板の自由端付近に真空管を各軸方向に取付け、かなり大きな加速度で振動試験を行うことが可能であった。約 230 c/s、最高加速度 160 g で 10 分間、各真空管をそれぞれフィラメント加熱および冷間の状態で試験した結果、異常を認めなかった。第 31 図はこの振



第 31 図 振動疲労試験機の試験片に供試真空管を取付けた状況

(註) 第 3 部高橋助手の設計による。

動試験の状況を示す写真である。

テレメータ送信機として組上げた状態における加速度試験は、衝撃加速度試験と振動試験の双方を行った。衝撃加速度試験は落下式で、初め 30 g で 2 回行い、外部的異常の有無を見、ついで 50 g 2 回を試み、前後における R F 発振周波数、および副搬送波発振周波数の変化の有無を検した。当初、要素各部は合成樹脂をもって組立後固める予定であったが、上記試験でその必要がないことが判明したので、重量増加を避けるため、そのような処理は施さなかった。副搬送波発振器には、中心周波数調整のためにトリマーが使用してあるが、これはエナメル固着で充分衝撃に耐えることが判明した。

振動試験は 2 軸式振動試験機により、500 回/分から 4,000 回/分まで、500 回/分 おきに、各 2 分間ずつ上下した。4,000 回/分における最大振幅は約 0.7 mm である。送信機よりの出力を復調し、記録した結果、3,500 回/分で僅かな雑音の発生が認められたが、これはテレメータ送信機の構造上の問題ではなく、振動試験機に取付ける方法が、完全に固定されないためにその部分の共振に基くものであった。これ以外には認めうる程度の雑音、懸念された振動数に一致する周波数成分の雑音はなく、機械的に安定であることが確かめられた。

9. 通達試験

ベビー T テレメータ送信機では、R F 出力が小さいので、空中線出力の直接測定は困難であり、また、間接的に測ることも容易でない。そのため、一応実距離に近い処で通達の可能性を検討する必要があった。

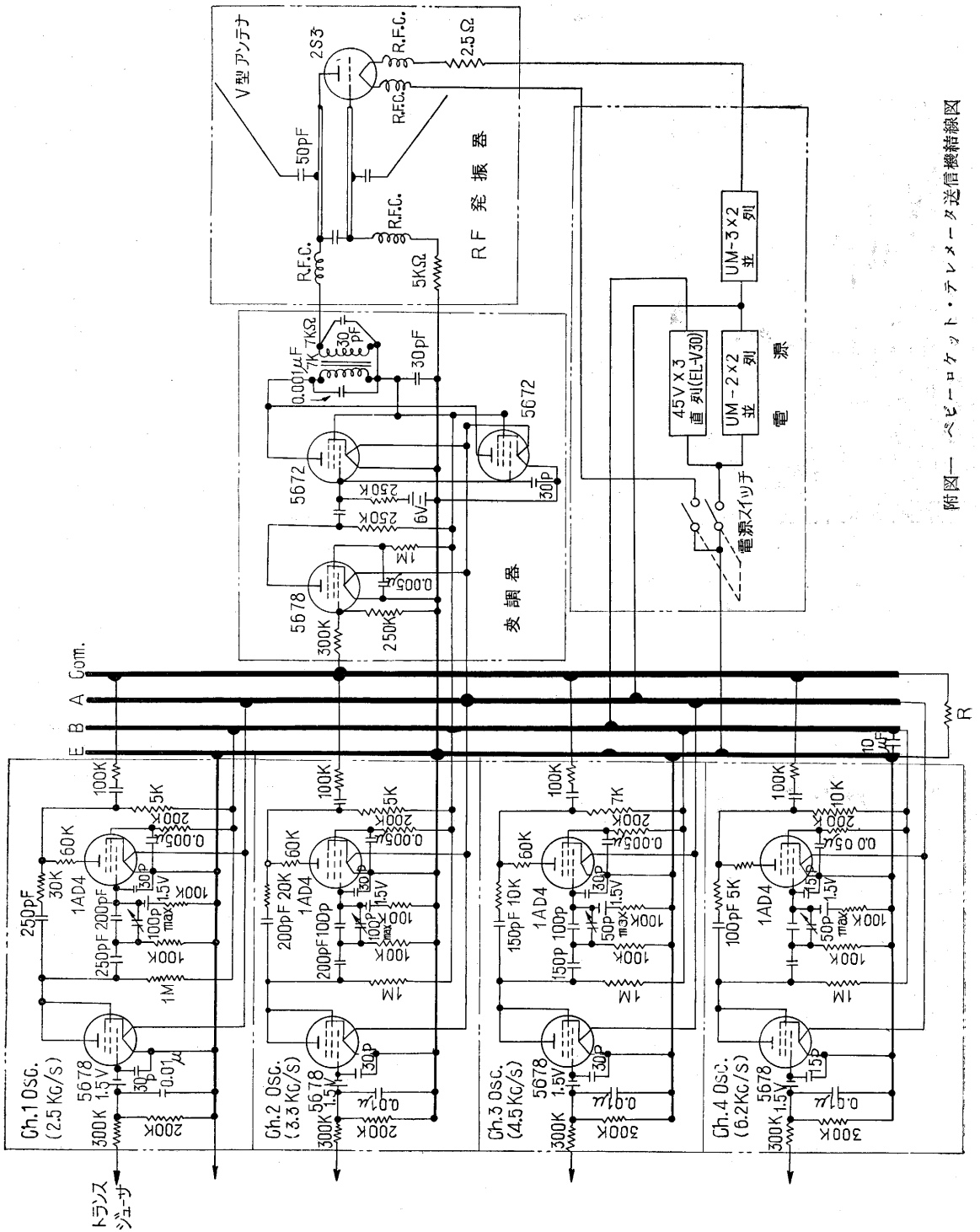
ベビー T の飛翔状況から大略 4~5 km の直距離を通じれば充分と考えられた。通達実験は、明星電気目黒研究所と、東京工業大学の塔屋上および駒場、理工学研究所時計塔上の間で 2 回行われた。この 2 回の実験の内容の違いは、送信空中線の形状変更にある。距離はいずれも約 4.5 km、もちろん送受の空中線は見透しであった。この結果は充分通達可能であることが認められ、また、各副搬送波発振器に、手動でポテンショメータより信号電圧を加え、これを受信、復調して記録までとり、総合動作が予期通りであることを確認した。(1955. 12. 17)

文 献

- (1) 生産研究：6, 7, pp. 177~180 (昭 29 年 7 月)
- (2) 無線工学ハンドブック：p. 381 (オーム社, 昭和 29 年)
- (3) 生産研究：4, 7 pp. 249~151 (昭和 27 年)

表 紙 写 真

ベビー T 5 号機発射直後の受信記録。上から順に、スタート・マーク、ヘリカル・アンテナ受信強度、静圧、ヒータ電圧、エンジン外壁温度、尖端部表面温度、八木アンテナ受信強度。右側はベビー T 外観。



附図一 ベーローケット・テレメータ送信機結線図