

航空宇宙技術研究所資料

TM-33

非定常境界層の遷移の研究に使用された
定温度型熱線風速計について

榎並敬之・山本稀義

1964年4月

航空宇宙技術研究所

非定常境界層の遷移の研究に使用された 定温度型熱線風速計について*

榎 並 敬 之** ・ 山 本 稀 義***

記 号

H : 熱量

l : 熱線の長さ

T_w : 熱線の温度

T_e : 気流の温度

k : 気体の熱伝導度

ρ : 気体の密度

c_p : 気体の定圧比熱

d : 熱線の直径

V : 風速

I : 熱線に流れる電流

R_a : 熱線の常温における抵抗

R_w : 熱線の動作時の抵抗

P_r : プラントル数

$$P_r = \frac{c_p \mu}{k} \quad (\mu \text{ は粘性係数})$$

R_e : レイノルズ数

$$R_e = \frac{Vd}{\nu} \quad (\nu \text{ は動粘性係数})$$

A : 制御回路のループゲイン

g_m : 制御増幅器のコンダクタンス

e_i : ブリッジの不均衡電圧

* 昭和39年3月17日受付

** 元空気学第一部 *** 空気学第一部

r.f. : common rejection factor

M, M': 熱線の時定数

A : ブリッジの不平衡を表わすパラメータ

1. ま え が き

従来より、風速の測定において、その時間的、空間的な分解能が厳しく要求される場合には、熱線風速計が広く利用されてきた。この原理はきわめて細い金属線を電氣的に加熱しながら気流の中に入れた場合に、風速によって金属線の表面より失なわれる熱量が異なるので、それを利用して風速の変動を電氣的に検出するものである。King¹⁾ によれば風速 V と失なわれる熱量 H の間には、次のような関係がある。

$$H = l(T_w - T_e)(k + \sqrt{2\pi k d \rho c_p V})$$

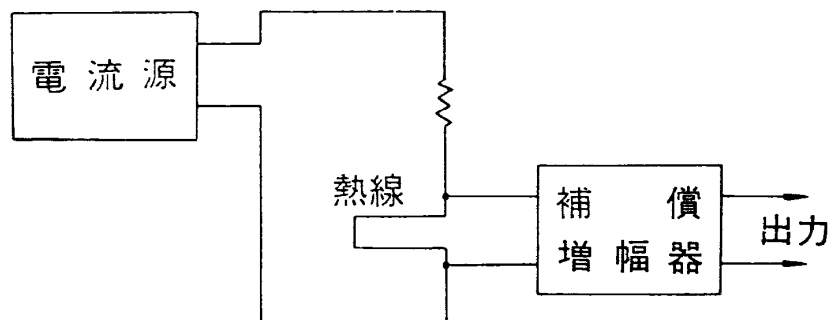
この式は $\rho c_p V d / k > 0.08$ または $P_r \times R_e > 0.08$ の時成立する。十分長い時間の平均をとれば

$$H = I^2 R_w$$

であるから I と R_w を知れば風速 V を求めることができる。本実験では 5μ の白金線を使用したので風速が 0.24m/s 以上あれば King の式が使える。

ここでこれまでに開発された熱線風速計は次に述べるように 2 つの型に分けることができる。

すなわち、電流を一定にして熱線の抵抗変化を検出する定電流型 (第 1 図) と熱線の抵抗を一定



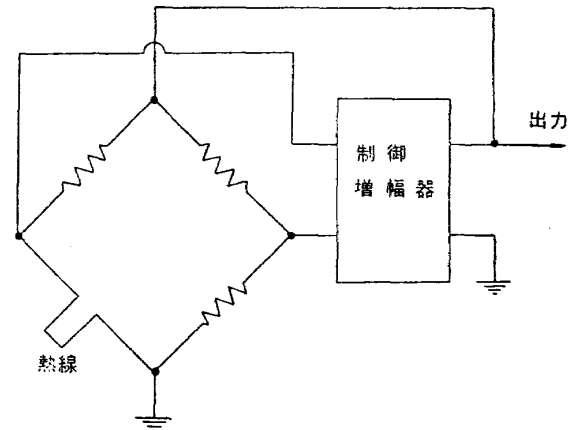
第 1 図 定電流型熱線風速計

になるように制御増幅器で帰還して、その電流変化を測定する定温度型または定抵抗型 (第 2 図) である。定電流型熱線風速計は従来乱流の測定に広く使用されてきた²⁾³⁾⁴⁾。しかしこの型式のものは、速度変動が大きな場合には熱線が広い温度範囲で動作しなければならないので、その特性が一樣でなくなるという欠点がある。このために大きな速度変動に対しても特性の変らない定温度型熱線風速計がこれまでも開発された⁵⁾⁶⁾。ここでその特徴を述べれば、

1) 制御用として直流増幅器を用いているために、風速の平均値と乱れを同時に観測し記録できる。

- 2) 大きな風速変動のある場合には、風速に応じて電流が変化して温度を一定に保つので、熱線自体の特性は一定に保たれる。また、帰還回路で自動的に周波数特性の補償がなされるので、別に周波数補償回路をつける必要がなく、風速に応じてその調節をする手間もいらない。
- 3) しかし定温度型では帰還回路系の安定性の要求から、広い周波数特性が要求され、したがって回路内の雑音が大きくなる。Eli⁷⁾の解析によれば、定電流型に比べてノイズは約5倍くらい高くなる。それでフィルターを用いて必要以上の周波数は切ってしまうなければならない。
- 等である。

試作したものは、非定常境界層の研究の目的にかなうもので、大きな速度変動に使用できる定温度型熱線風速計であるので、これについて述べる。



第2図 定温度型熱線風速計

2. 基礎設計

非定常境界層の研究のため、本熱線風速計に課せられた性能は次のとおりである。

- 1) 主流の50%以上の速度変動が測れること。
- 2) 風速の大きさと乱れとを同時に測れること。
- 3) 周波数特性は約 10kc/s まで十分動作すること。

これらの要求、特に1), 2)は定電流型では到底満足することができないので、定温度型熱線風速計を製作することにした。

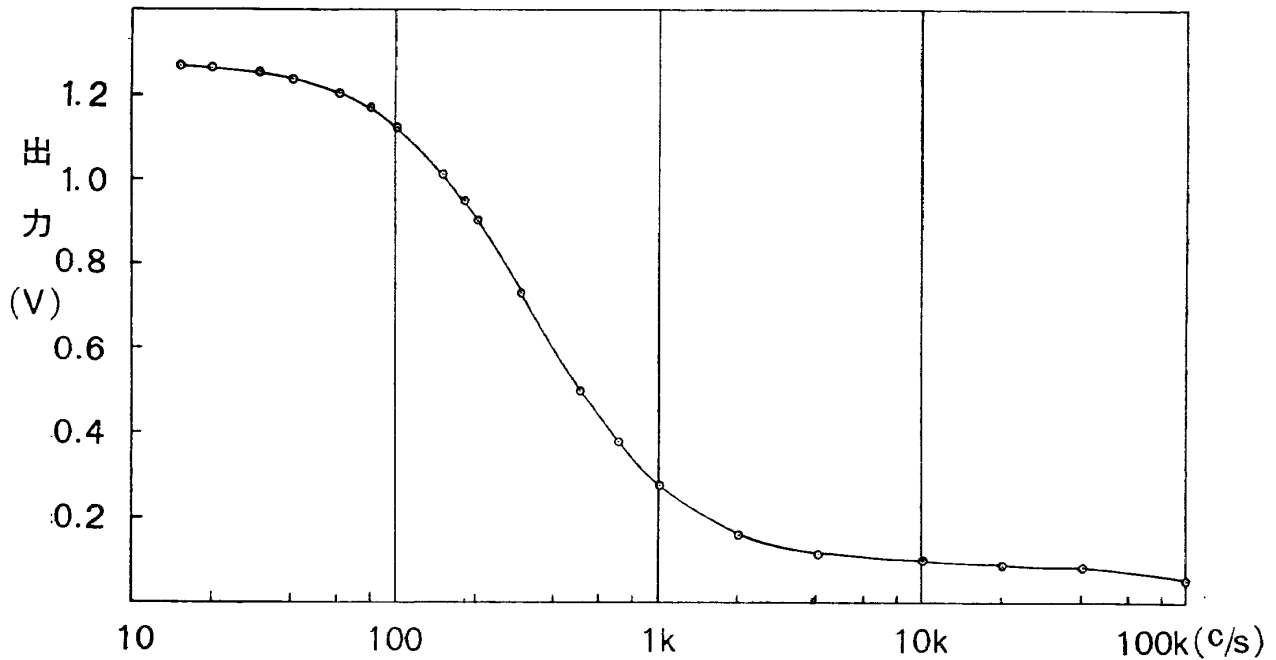
3)については、熱線自身の熱容量が無視できないために、高い周波数に対しては応答できなくなってしまう。本実験に用いた5 μ の白金線では第3図に示すように遮断周波数は約 200c/s である。

この遮断周波数は増幅器の負帰還によって $(A+1)$ 倍に伸びる。ここで A は負帰還回路系のループゲインである。よって周波数特性を 10kc まで伸ばすためには $A=50$ くらい必要である。

また、

$$A = g_m \left(\frac{\partial e_t}{\partial I} \right)$$

であるから、この増幅器に必要な g_m の値は定まる。しかし、 $(\partial e_t / \partial I)$ の値は熱線の抵抗によって変わり、実際に測定した値は次のとおりである。



第3図 熱線のオープンループでの周波数特性 $R_w=1.5R_a$ 周波数

| R_w/R_a | $(\partial e_i/\partial I)$ |
|-----------|-----------------------------|
| 1.17 | 0.89 |
| 1.3 | 4.57 |
| 1.5 | 5.7 |

ここで R_w , R_a は熱線の動作時および常温における抵抗値を示す。

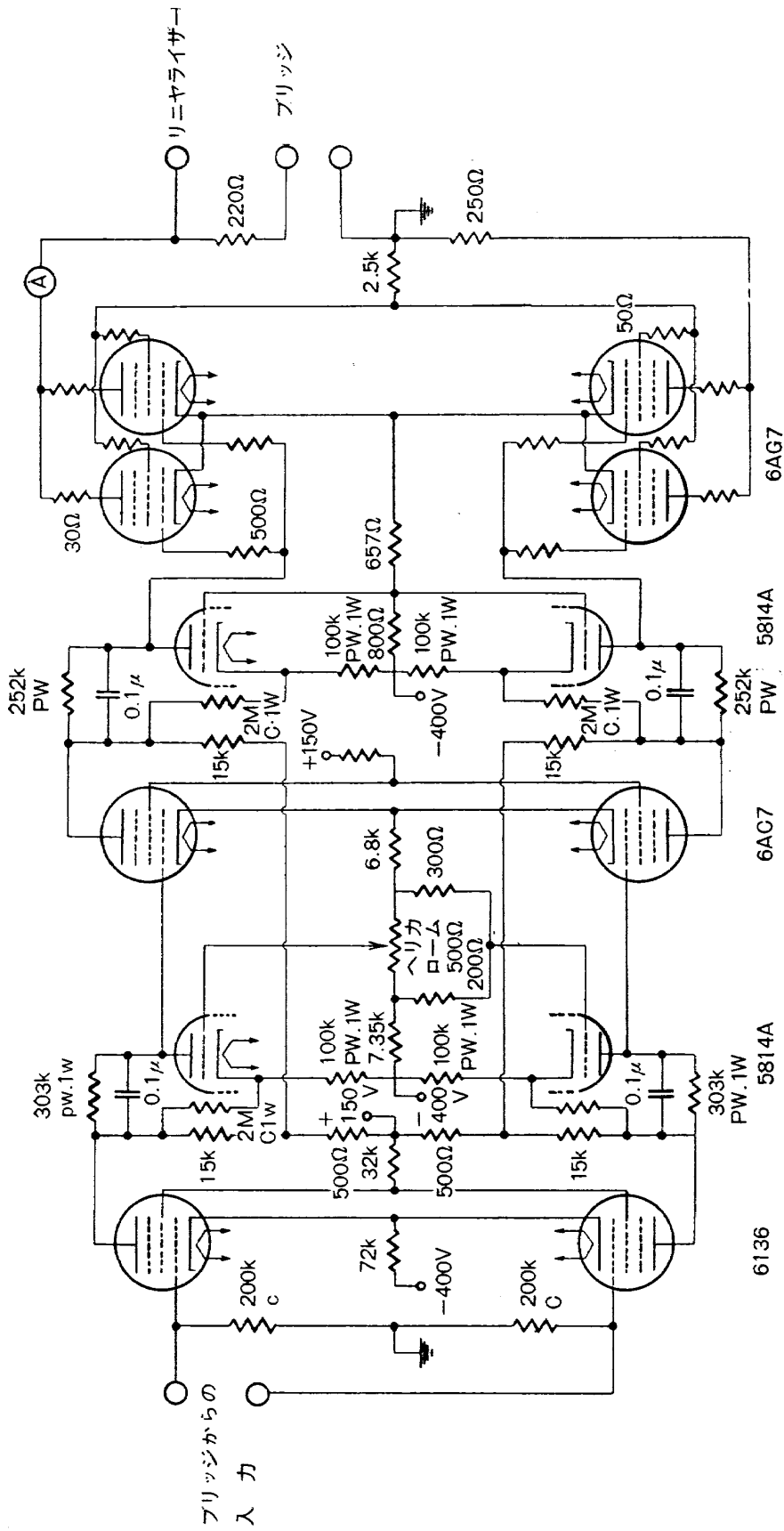
これからわかるとおり R_w が小さくなると、すなわち熱線の温度が低くなると熱線自体の周波数特性は良くなるが、ブリッジの感度が下がるので、定温度型熱線風速計ではループゲインが小さくなって全体としての周波数特性は悪くなる。この点は定電流型と逆になる。実験の結果から $R_w/R_a = 1.5$ くらいの時が最も望ましい結果が得られる。第3図はその場合の周波数特性である。前記の結果より、熱線風速計の周波数特性を 10kc まで伸ばすためには、制御増幅器の相互コンダクタンス g_m の値は 8.6mho 以上必要である。

3. 構 成

測定に使用された熱線風速計の構成は第4図に示すとおりで、制御増幅器、ブリッジ回路、リニヤライザー、フィルター、記録装置および電源からなり、本実験では基準としての外流変動と境界層内の速度変動とを同時に測定するために、同一型式のものが2組使用された。

1) 制御増幅器

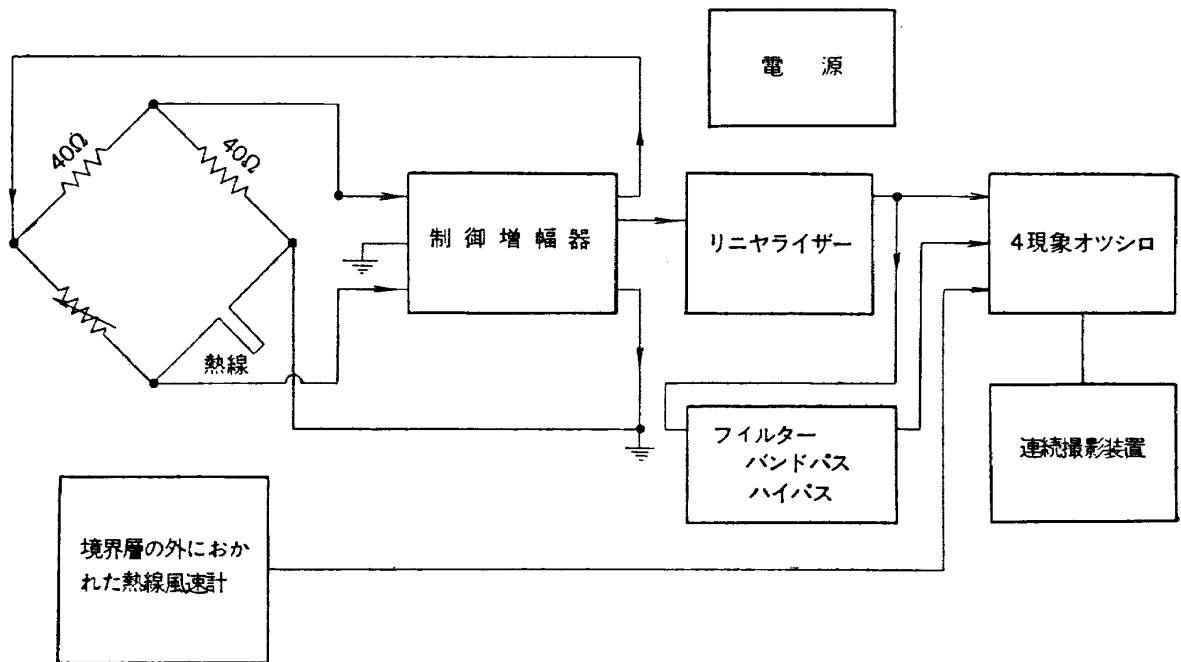
制御増幅器の回路は第5図に示すとおりで、Eli⁷⁾ の回路に多少改良を加えたものである。この回路は3段の差動増幅器よりなり、段間結合には Mezger⁸⁾ の定電流回路を用いてある。第6図に



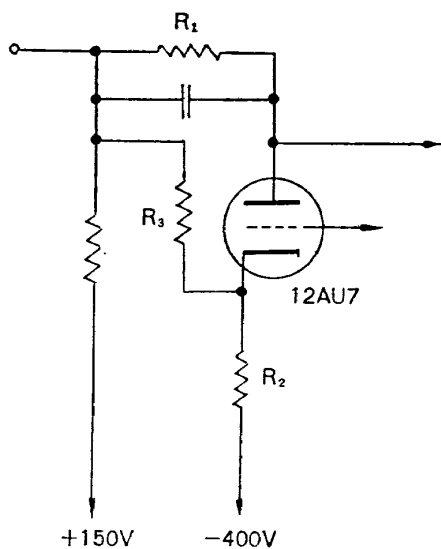
第5図 制御増幅器回路

P_w : 精密巻線抵抗

C: 炭素皮膜抵抗



第4図 定温度型線風速計構成線図



第6図 Mezger の段間結合回路

において、結合管 12AU7 のグリッドは差動増幅器のカソードにつながれており、定電圧に保たれていると見なしてよいから、結合管の内部抵抗はカソードの抵抗 R_2 による電流帰還がかかって、 $r_p + \mu R_2$ となるが、(μ は結合管の増幅率) $R_3 = \mu R_2$ なる抵抗でさらに帰還をかけて陰極の電位を上げると、結合管の電流一定、すなわち、インピーダンス無限大となり、利得の損失なしに直流レベルを変える事ができる。

ブリッジ回路は最終段の差動増幅器の負帰還がかかる極性の陽極側に入れてあるが、回路が閉じた場合にはブリッジの供給電流が変化すると、ブリッジのバランスが変わるだけでなく、電流に比例した負電圧が差動増幅器の両側のグリッドに同時にかかる。この同位相の入力は風速変動に対応する逆位相の信号電圧に比べて、非常に大きいから制御増幅器の初段の差動増幅器で十分リジェクトされなければならない。

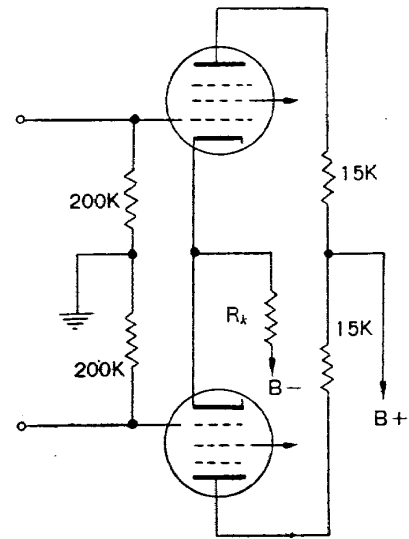
$$\frac{\text{逆位相の入力に対する利得}}{\text{同位相の入力に対する利得}} = r.f$$

を common rejection factor (または common mode rejection) と呼ばれる⁹⁾。この値は2つの真空管の g_m の差が少なく、共通の陰極インピーダンス R_k に比例する。第7図の回路では $r.f$ は普通数百以下であるが、特別に特性の合ったものを組み合わせると、3,000以上にできる。第8図

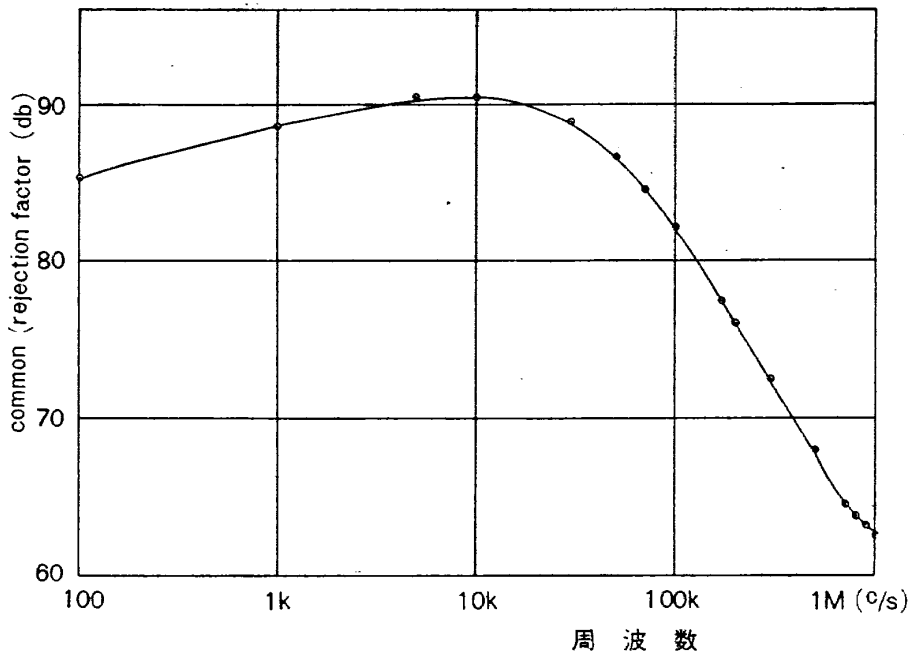
本制御増幅器の *r.f* を示してあるが希望どおりの値が得られた。

第5図に示した増幅器の利得は初段で 31db, 6AC7 の段で 38db, 負帰還が -9db である。そして電流源としての g_m の値は 6AG7 の段で 9mho に設計したが実測した結果は 8.63mho であった。

近年のエレクトロニクスの発達は、その優秀な部品の開発に負うところが多いが、われわれの場合も、制御増幅器が非常に高利得の直流増幅器であるので、できるだけ良い部品を集めるように心掛けた。直流増幅器でまず問題になるのは、



第7図 差動増幅器の基本回路



第8図 制御増幅器の Common Rejection Factor

そのドリフトである。

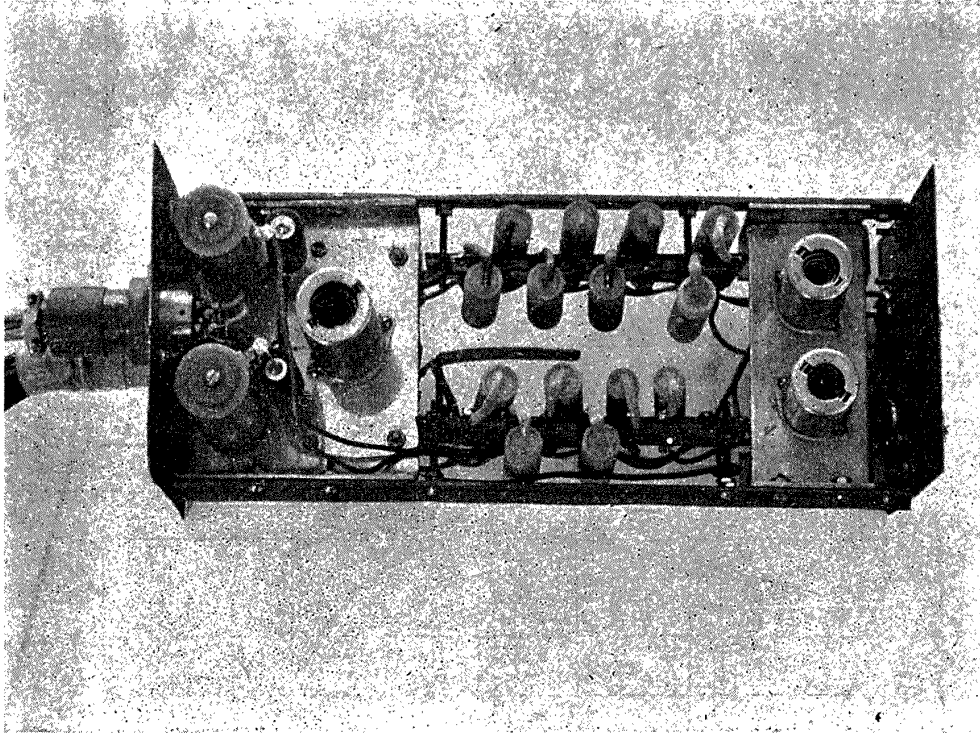
このために、ほとんどすべての抵抗に無誘導巻線抵抗を用いた。その安全係数は公称電力に対して 2~4 倍, 炭素抵抗は 8 倍くらいみた。その結果, 本装置全体として, 2 時間くらいの実験では再調整の必要はなく, 一回の較正で誤差の少ない測定ができた。次にハムについては, 前段の真空管を全て直流点火にすればヒーターハムは非常に減る。

しかしトランス等からの電磁誘導によるハムは, ブリッジ, プロベ, 増幅器初段を磁気シールドしたくらいではおさまらなくて, 結局は電源部をなるべく遠く離すことが一番有効であった。

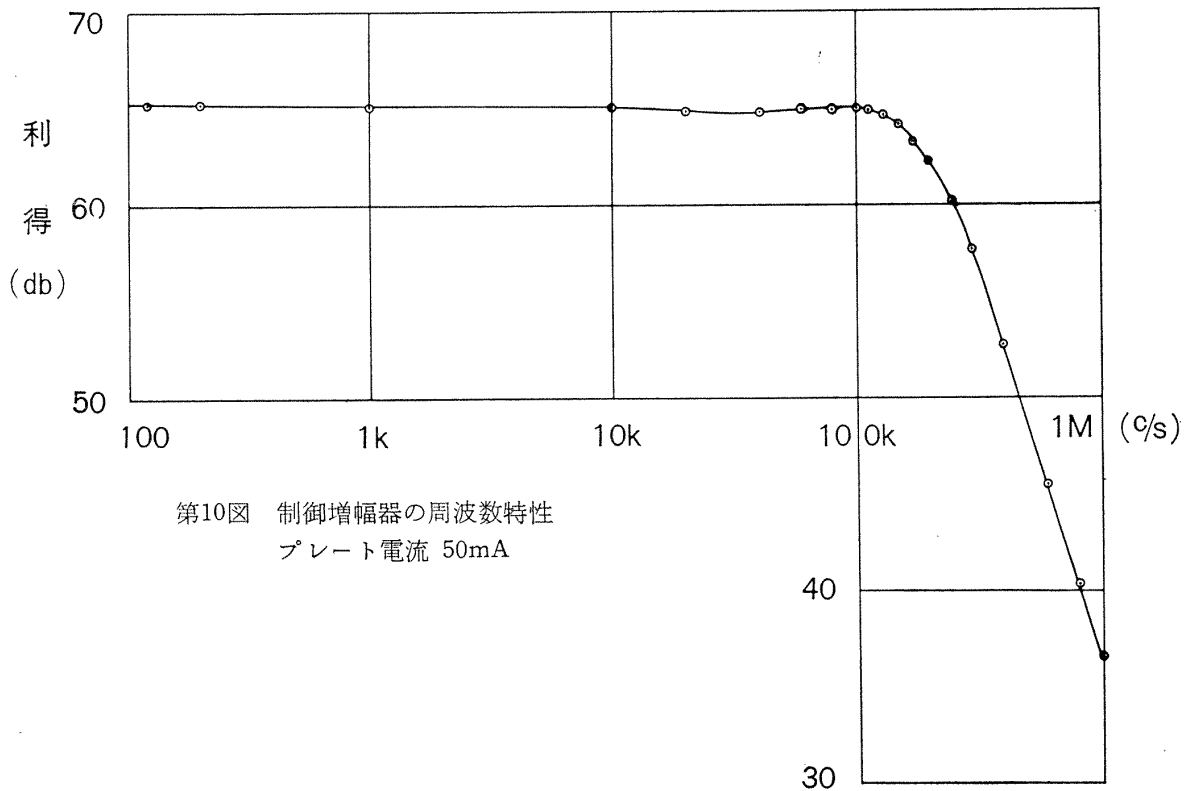
マイクロホニックノイズについては, 高信頼管を用いると共振周波数が 3 倍くらいになる。また初段管を入れたサブシャーシは二重のクッションをつけ, できるだけ機械的な振動をのぞいた。第

9 図にこのサブシャーシの写真を示す。

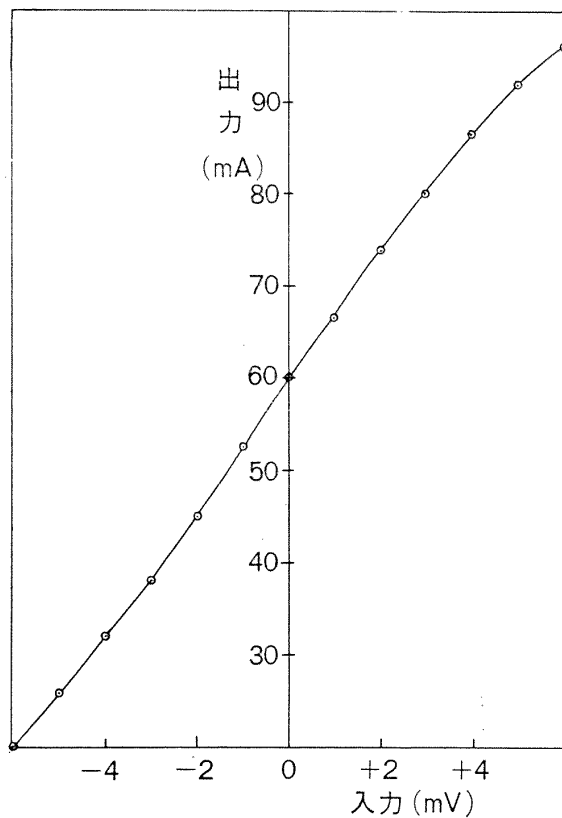
第10図, 11図に, 本制御増幅器の周波数特性および直線性を示す。周波数特性は Eli によれば 100kc まで必要である。また, この増幅器のダイナミックレンジは 20~90mA まで使用可能であ



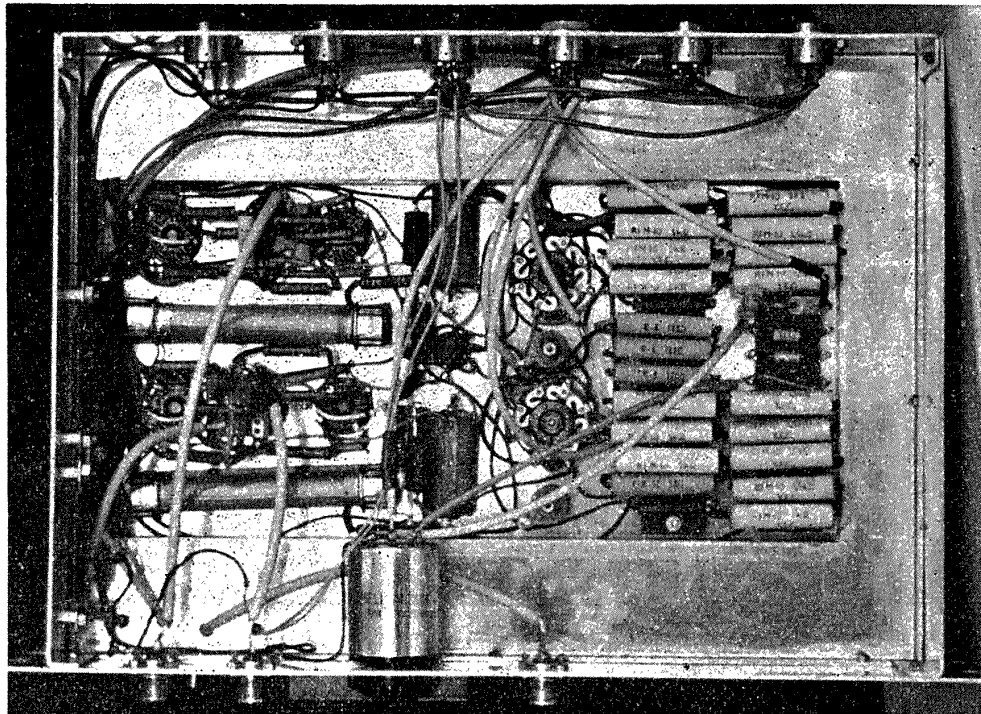
第9図 制御増幅器の初段用サブシャーシ



第10図 制御増幅器の周波数特性
プレート電流 50mA



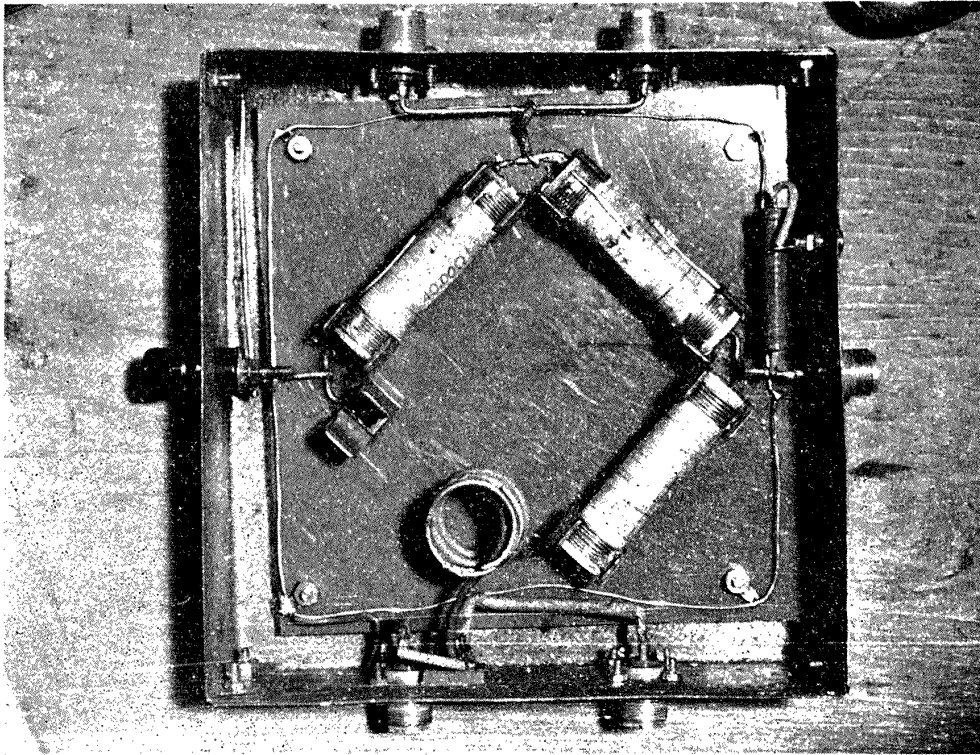
第11図 制御増幅器の直線性



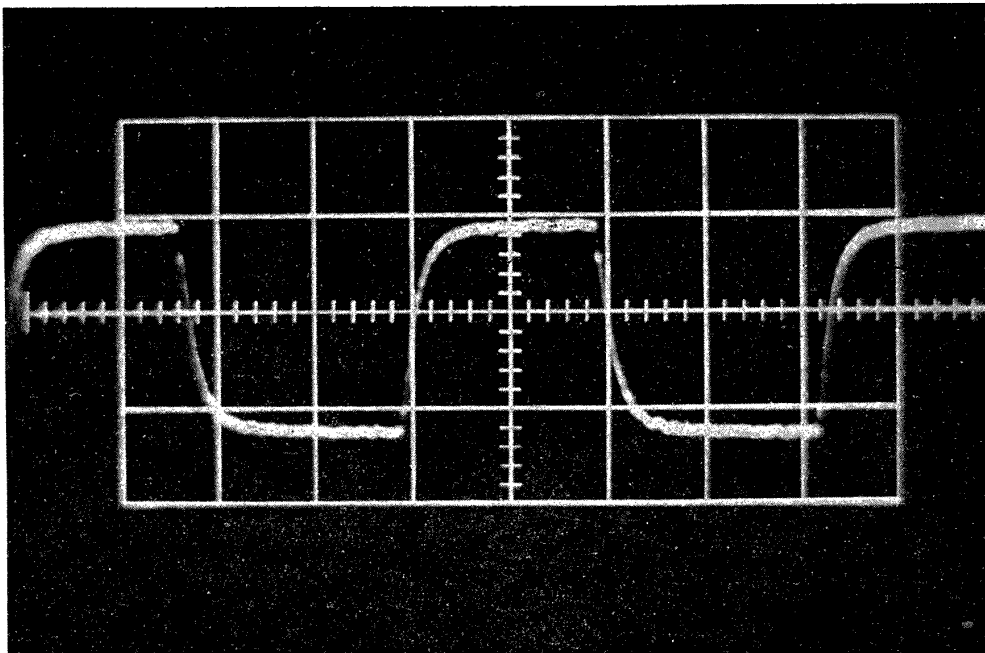
第12図 制御増幅器

る。実際に配線された制御増幅器の写真を第12図に示す。

2) 電ブリッジ回路

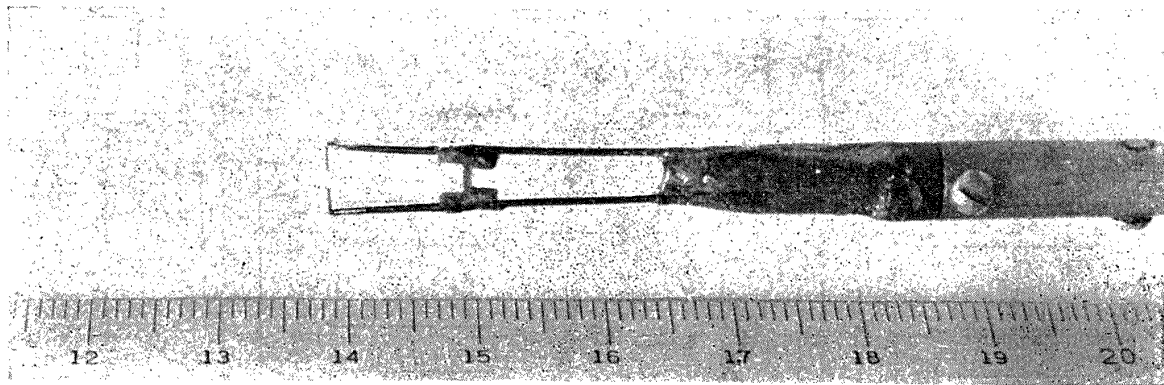


第13図 ブリッジ



第14図 風速零でブリッジのバランスをとった場合の 2kc/s 矩形波に対するレスポンス
 縦軸 50mV/cm
 横軸 $50\mu\text{s/cm}$

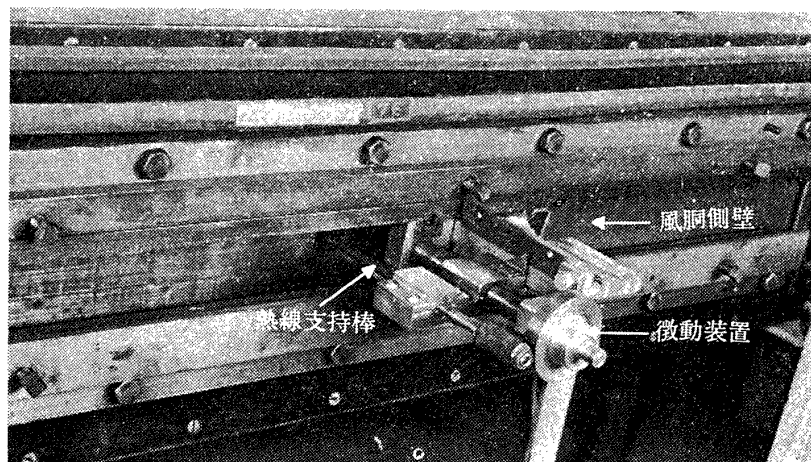
第4図に示されたとおりブリッジの一辺には熱線のプローベが繋がれ、その抵抗の変化がブリッジのアンバランスとなり、増幅器の入力となっているので、ブリッジが直流的、交流的にバランスしていないと、増幅器が発振を起しやす。そのため各辺の抵抗には無誘導型の抵抗を用いる



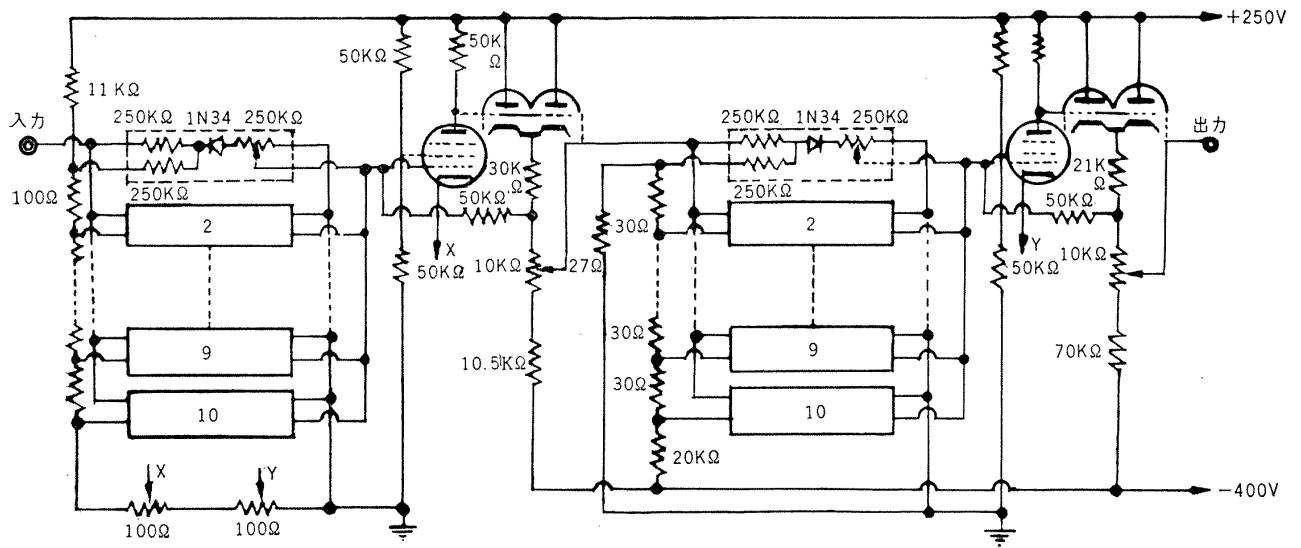
第15図 プローベ

ようにした。これにはマンガン線を二つ折にして、セラミックボビンに間隔をとって巻いた第13図の手製の抵抗の方が、市販の無誘導型巻線抵抗よりも良い性能を示した。

一般に熱線はプローベに張代えるたびに、その抵抗値が異なるので、ブリッジのバランスをとって熱線の温度を一定にするために、いろいろな抵抗を用意しておいた。さらに、微調整はマンガン線の長さを変えて行なった。こうすればブリッジの直流的なバランスは簡単にとれるが、プローベ、リード線等の浮遊インダクタンスにより、交流的にはバランスがとれないから第13図のように小さなコイルを入れて、それを調節することによって交流的にもアンバランスをできるだけ小さくした。第14図にそのような場合の矩形波に対するレスポンスを示す。熱線は第15図に示されるようにプローベの先端にハンダ付けされている。この写真で先端に張り渡してある中心の部分（写真ではよくみえないが）にエッチングされた 5μ の白金線がむきだしになっているが、プローベの方の太い線はその上に銀をかぶせたものである。熱線はこの様に非常に細いので機械的な撃衝には弱くすぐ断線するので、先端の針は十分良く固定されて振動を起こさないようにしなければならない。このプローベを風洞に入れる場合の支持装置は第16図のとおりで、主流に平行な方向および直角な



第16図 プローベ支持装置



第17図 リニヤライザー回路

方向にトラバースできるようにしてある。

3) リニヤライザー

King の式より風速とブリッジに流れる電流、すなわち出力電圧の関係は直線的ではないので、リニヤライザーを用いてこれを直線的にした。リニヤライザーは第17図で示すように折れ線 2 乗回路 2 段よりなる 4 乗回路で、段間のバイアス電圧によって定数を設定するものである。ていねいに

調節すればこの各関数発生器の特性は 2 乗曲線との偏差 1% くらいにできる。

4) フィルター

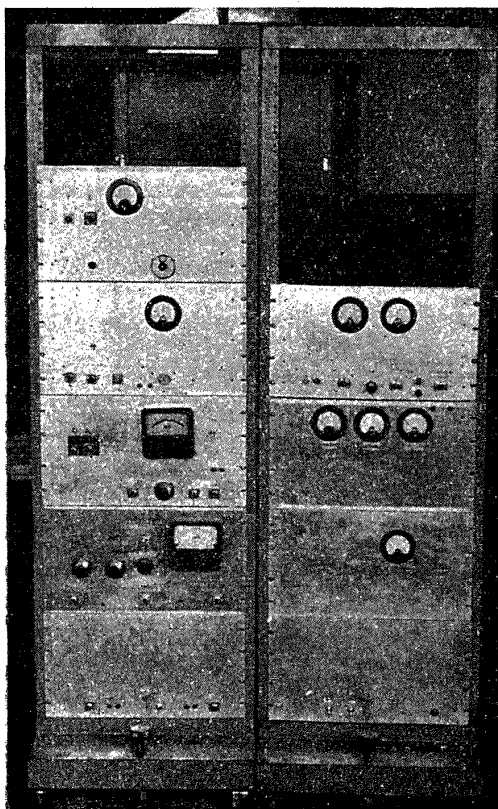
フィルターは境界層内にあらわれる風速の微小攪乱を、主流の変動速度から区別するためのもので、特に本実験では、後者がたかだか 4c/s 程度なのに対して、前者が 20c/s 以上であるため、比較的簡単な低域遮断フィルターを使用した。

5) 記録装置

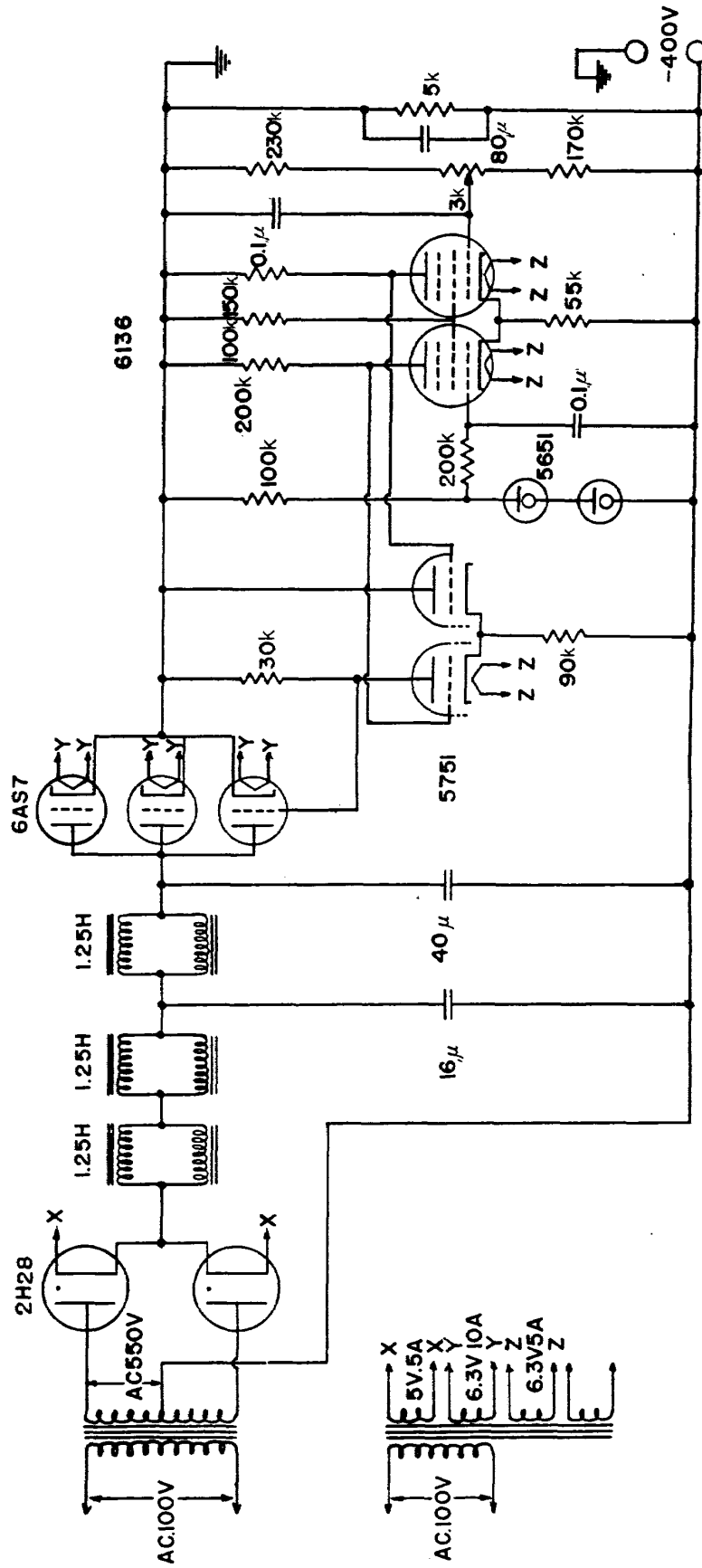
記録装置としては、4 現象のオッシログラフを用いて、主流と境界層内速度の時間変動およびフィルターを通過した境界層内微小振動を同時に記録すると共に、風速計のこう正值の記録を行なった。

6) 電源

今まで述べたもののほかに補助的な回路として、制



第19図 全体装置



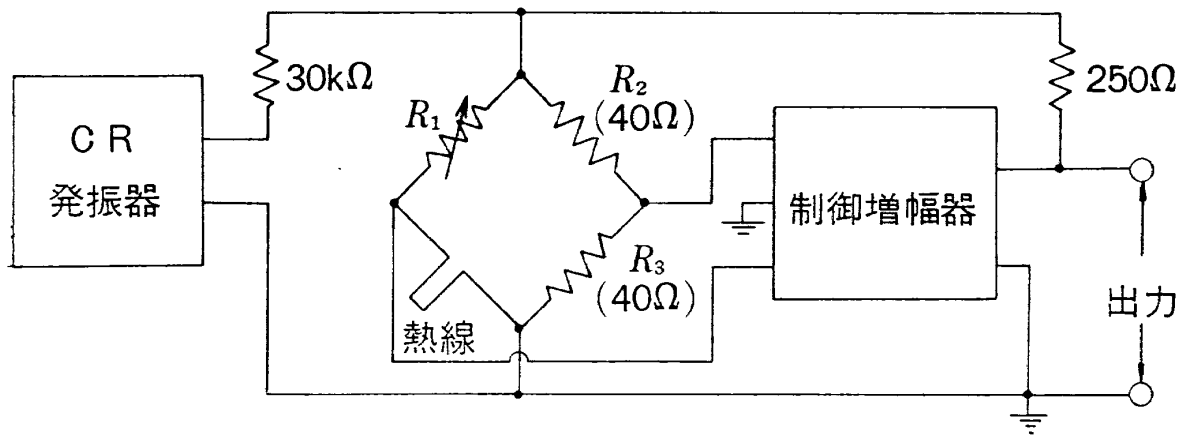
第18図 -400V 電源回路

御増幅器，リニヤライザーのB電源用に，+150V，+250V，-250V，-400Vの4種類の直流電源を用いた。+150Vと-400Vは制御増幅器のためで，あとの二つはリニヤライザーに使用した。この電源の一例として-400Vの電源の回路は第18図に示すとおりであるが，ほかの電源もほぼこれと同じである。これらの電源の安定度は1:5000，リップルは1mV以下である。

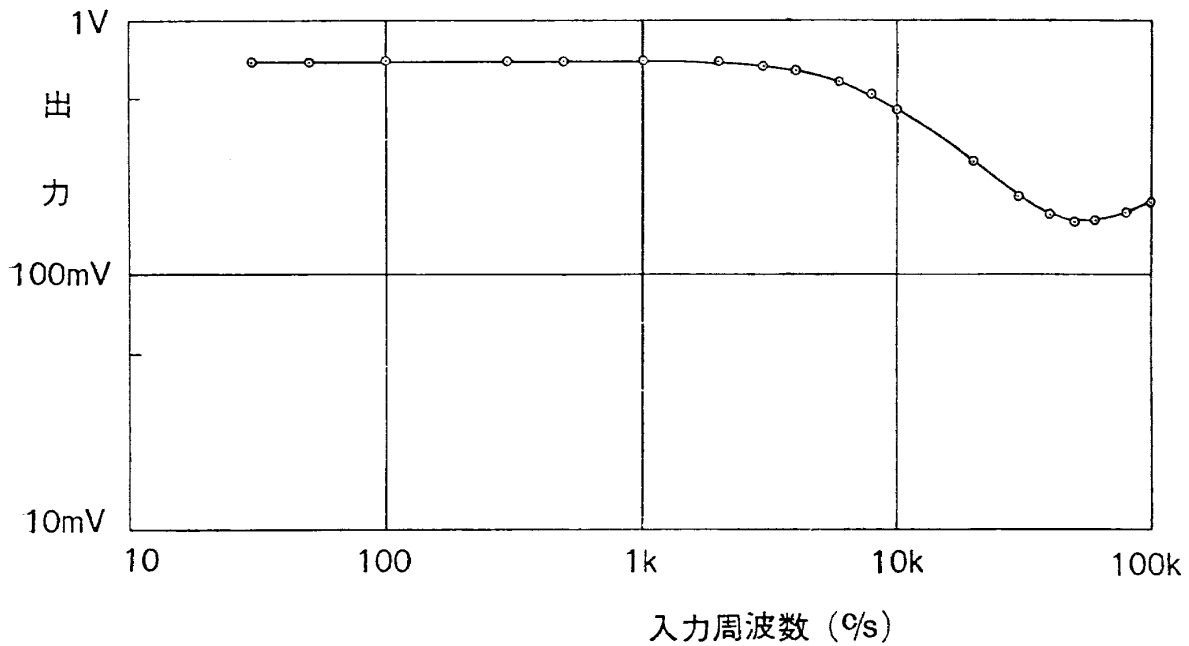
これらの装置全体の写真を第19図に示す。

4. 定温度型熱線風速計としての性能

前に述べたいろいろなものを組み合わせ，風速計とした場合の性能をいろいろ調べてみた。第20(a)，(b)図に熱線風速計の周波数特性の測定法およびその測定結果を示す。この周波数特性は風速が



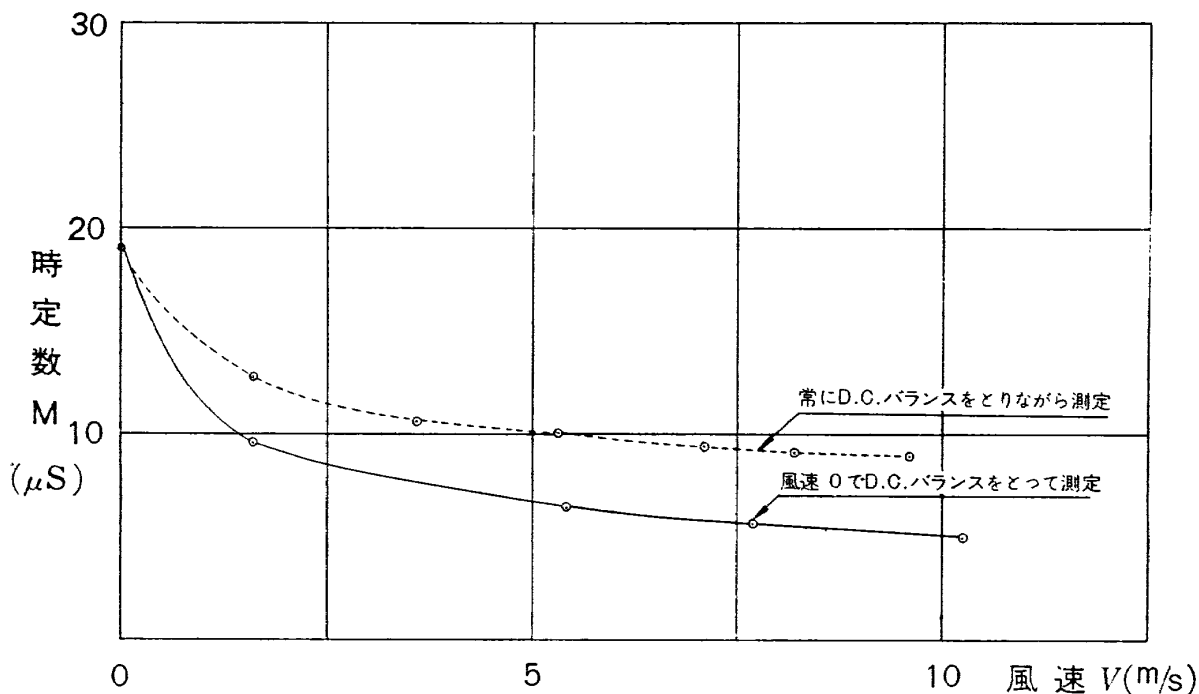
(a)図 熱線風速計の周波数特性構成線図



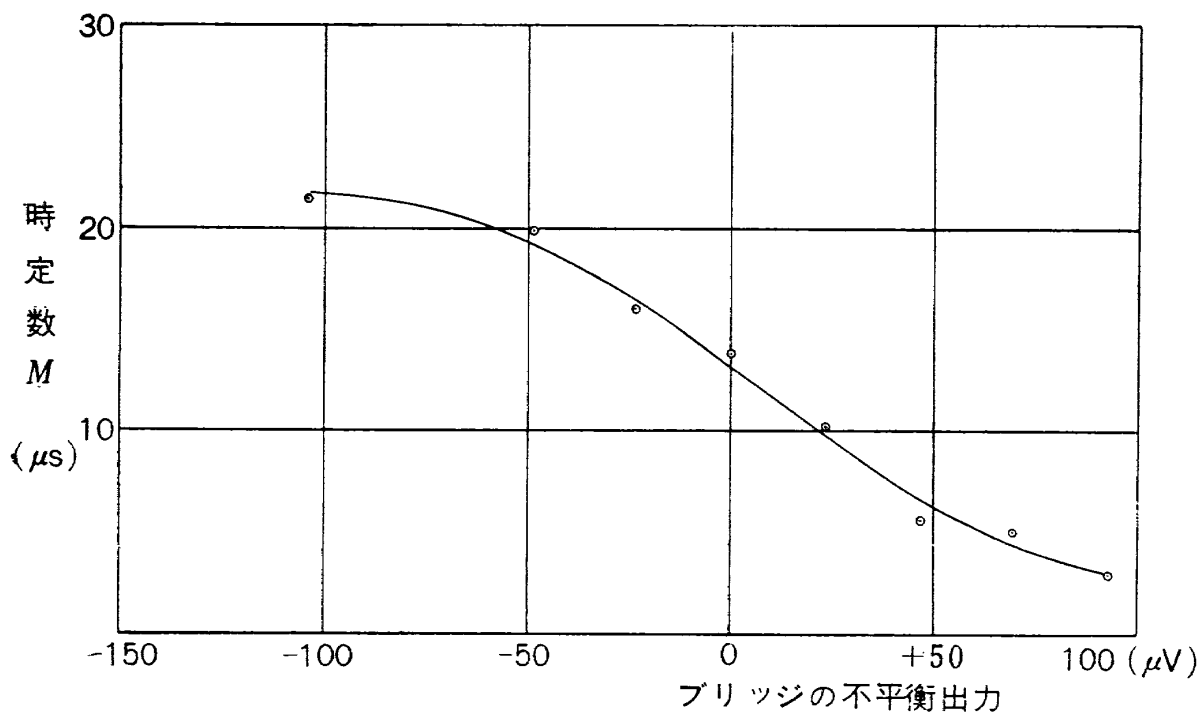
(b)図 熱線風速計の周波数特性

第20図

変化すれば熱線風速計より失なわれる熱量が変わるため、いくぶん変化するが、当初の要求を満たすものである。また、帰還回路のループゲインが有限であるため、風速が変化すると、完全に定温度動作が現実されなくて、直流バランスが多少くろう結果が見られた。Janssen¹⁰⁾ の解析によれば、

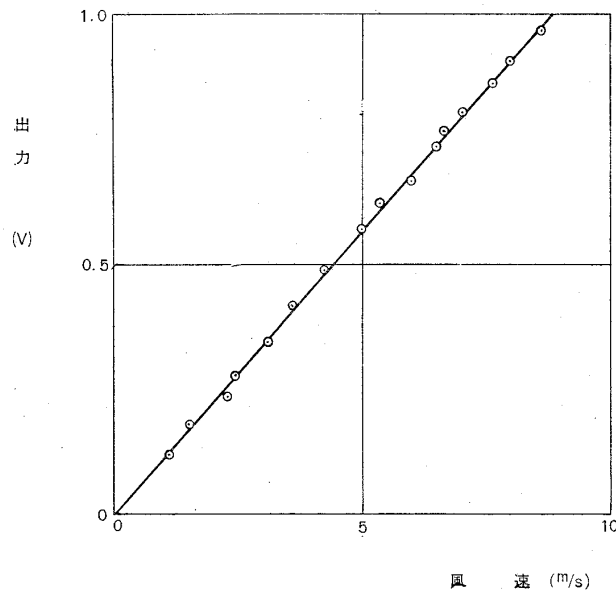


(a)図 風速による時定数の変化

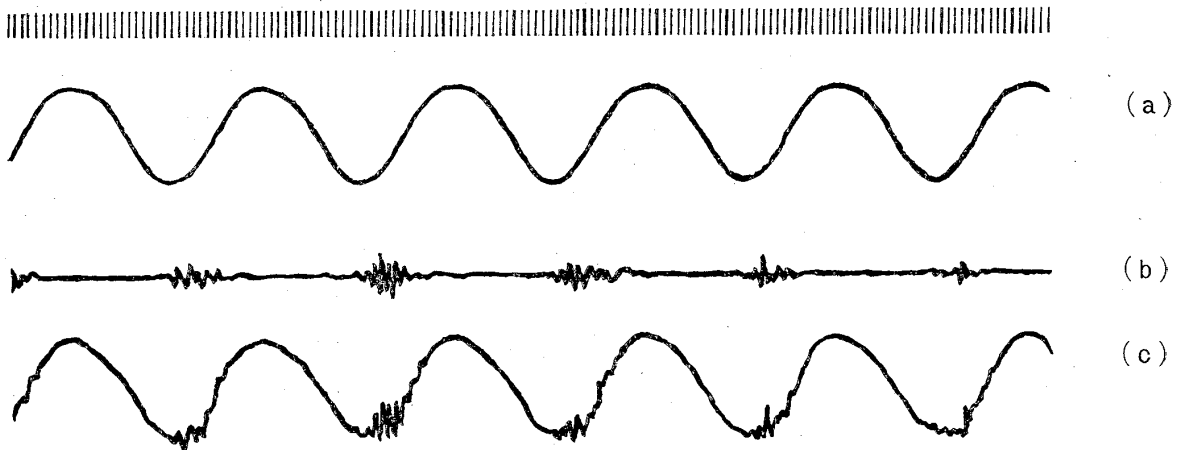


(b)図 ブリッジの不均衡出力と時定数

第21図



第22図 リニアライザーを通したときの風速と出力電圧の軽正曲線



第23図 熱線風速計による非定常境界層に関する測定結果の一例
 (a): 主流 (平均風速 7.5m/s, 変動周波数 3.8c/s)
 (b): (c)をハイパスフィルターを通して境界層内の微小乱れを取り出す
 (c): 境界層内の速度変動

ブリッジのアンバランスと時定数の間には近似的に次の関係がある。

$$M' = M(1 - g)$$

$$g = g_m R_w A$$

$$A = \frac{R_1 R_3}{R_2 R_w} - 1$$

ここで M' はブリッジにアンバランスがある時の時定数, M はブリッジがバランスしている時の時定数である。また R_1, R_2, R_3 はブリッジの各辺の抵抗で, R_w は熱線の抵抗である。したがって, A はブリッジのアンバランスをあらわす。前記によれば, R_w が増せば A は負となり M' は

増加し、 R_w が減少すれば A は正となり M' は減少する。すなわち、風速が増せば時定数は減少し周波数特性は良くなる。このブリッジアンバランスと時定数の関係は、Staritz¹¹⁾ の実験結果と傾向的に一致しているが、われわれの熱線風速計においても第21(a), (b)図に示すように、同じ結果が得られた。ノイズは 10kc から上の周波数を C-R 積分回路で切ってしまうと非常に少なくなり、ハムを含めて実用上全く問題にならない。

増幅器に直流増幅器を用いているため、どうしてもドリフトが問題になるが、このため実験は、電源を入れてから十分安定させたのち行なうようにした。

測定は風速零の時、ブリッジの直流、交流のバランスをとり、リニヤライザーの出力が零となるように調節する。そしてピトー管を用いて風速と出力電圧のこう正曲線を作る。このこう正曲線の一例を第22図に示す。これで熱線を気流の中に入れた場合に、その出力電圧からその場所の風速 V がわかる。われわれは非定常境界層の研究のために、同様な熱線風速計を 2 組用いて、風洞内の主流と境界層内の流れおよびその乱れの間関係を同時に測定した。これらの出力電圧を 4 現象オシログラフに入れて、オシロペーパーに同時に記録した一例を第23図に示す。この例は主流の速度変動が境界層に与える影響を調べたものである。

5. む す び

この熱線風速計は、非定常境界層の遷移の研究に使用するため、設計、製作されたものであるが十分にその目的を達する事ができた。今後もこのような熱線風速計は、比較的低速の非定常気流の実験に特に有用であると思われる。

本装置の設計、製作に当っては、空気力学第二部小橋安次郎技官、河野長生技官、空気力学第一部長洲秀夫技官、恩地英技官にいろいろ御指導いただいた。特にリニヤライザーについては河野技官に負う所が多い。また、日本大学工学部助教授菰田広之博士に本装置についていろいろ御検討いただいた。これらの方々に深く感謝の意を表わす次第である。

文 献

- 1) King, Louis Vessot: On the Convection of Heat from Small Cylinders in a Stream of Fluid. Determination of the Convection Constants of Small Platinum Wires with Application to Hot-Wire Anemometry. Phil. Trans. Roy. Soc. (London), ser. A, Vol. 214, Nov. 12, 1914.
- 2) 佐藤浩, 小橋安次郎, 井内松三郎, 山本一夫, 恩田善雄: 新たに試作された乱れ測定装置について, 理工研報告 8 1954.

- 3) Kovasznay, Leslie S.G.: Development of Turbulence-Measuring Equipment. NACA. TN. 2839.
- 4) Dryden, H.L., and Kuethe, A.M.: The Measurement of Fluctuations of Air Speed by the Hot-Wire Anemometer. NACA. Rep. 320, 1929.
- 5) Kovasznay, Leslie S.G.: Simple Analysis of the Constant Temperature Feedback Hot-Wire Anemometer. CM-487, Dept. Aero., The Johns Hopkins Univ., June 1, 1948.
- 6) James C. Laurence and L. Gene Landes.: Auxiliary Equipment and Techniques Hot-Wire Anemometer to Specific Problems in Air Flow Measurements. NACA. TN. 2843, Dec. 1952.
- 7) Eli Ossofsky.: Constant Temperature Operation of the Hot-Wire Anemometer at High Frequency Review of Scientific Instruments, Vol. 19, No. 12 Dec. 1948.
- 8) Mezger G.R.: A Stable Direct Coupled Amplifier. Electronics, Vol. 17, July 1944.
- 9) Klein.: Rejection Factor of Differential Amplifiers. Philips Research Report, Vol. 10, Aug. 1955.
- 10) J.M.L. Janssen, L. Ensing And J.B. Van Erp.: A Constant Temperature Operation Hot-Wire Anemometer. Proceedings of the IRE, Vol. 47, April 1959.
- 11) Staritz, R.F.: Die Elektronische Messung der Stromungsgeschwindigkeit und der Turbulenz. VDI-Z. 102, Nr. 3, 21, Jan. 1960.

| | | |
|--|--|--|
| <p>NAL TM-33 航空宇宙技術研究所 非定常境界層の遷移の研究に使用された 定温度型熱線風速計について</p> <p>1964年4月 18ページ</p> | <p>I. 榎並敬之 山本稀義 NAL TM-33 533.6.08</p> | <p>I. 榎並敬之 山本稀義 NAL TM-33 533.6.08</p> |
| <p>従来の定電流型熱線風速計では、測定できない大きな速度変動のある場合の非定常流の速度の測定に用いられる、定温度型熱線風速計について、その設計から、回路の構成、実際に使用した場合の測定結果について述べている。本装置は非定常境界層の遷移の研究に使用されたもので、十分目的を達することができた。</p> | <p>NAL TM-33 航空宇宙技術研究所 非定常境界層の遷移の研究に使用された 定温度型熱線風速計について</p> <p>1964年4月 18ページ</p> | <p>I. 榎並敬之 山本稀義 NAL TM-33 533.6.08</p> |
| <p>従来の定電流型熱線風速計では、測定できない大きな速度変動のある場合の非定常流の速度の測定に用いられる、定温度型熱線風速計について、その設計から、回路の構成、実際に使用した場合の測定結果について述べている。本装置は非定常境界層の遷移の研究に使用されたもので、十分目的を達することができた。</p> | <p>NAL TM-33 航空宇宙技術研究所 非定常境界層の遷移の研究に使用された 定温度型熱線風速計について</p> <p>1964年4月 18ページ</p> | <p>I. 榎並敬之 山本稀義 NAL TM-33 533.6.08</p> |
| <p>従来の定電流型熱線風速計では、測定できない大きな速度変動のある場合の非定常流の速度の測定に用いられる、定温度型熱線風速計について、その設計から、回路の構成、実際に使用した場合の測定結果について述べている。本装置は非定常境界層の遷移の研究に使用されたもので、十分目的を達することができた。</p> | <p>NAL TM-33 航空宇宙技術研究所 非定常境界層の遷移の研究に使用された 定温度型熱線風速計について</p> <p>1964年4月 18ページ</p> | <p>I. 榎並敬之 山本稀義 NAL TM-33 533.6.08</p> |

既 刊 資 料

| | | | |
|-------|---|-----------|---|
| TM- 1 | 高マッハ数風洞について (I) | 1961年 11月 | 平木 一, 清水 福寿 橋本 登 |
| TM- 2 | 航空技術研究所計数型電子計算機設備 プログラムライブラリー (I) | 1962年 2月 | 樋口 一雄, 戸川 隼人 好美 甫, 高橋 利之 能海 良三, 板垣 芳雄 鳥海 良三, 佐藤 保子 |
| TM- 4 | 18 cm×20cm超音速風洞について | 1962年 5月 | 長洲 秀夫, 伝田 幸雄 |
| TM- 5 | 遷音速流の線型理論 | 1962年 8月 | 細川 巖 |
| TM- 6 | 18 cm×18cm遷音速風洞整備試験 | 1962年 8月 | 橋本 登, 井上 政一 |
| TM- 7 | 慣性力形疲労試験機 | 1962年 8月 | 竹内 和之, 山根 皓三郎 |
| TM- 8 | アルミ合金の前歴が疲れ寿命に およぼす実験的研究 | 1962年 9月 | 池田 為治, 坂元 思無邪 |
| TM- 9 | 方向性次元解析と相似解に関する覚書 | 1963年 2月 | 甲藤 好郎, 小出 勉 |
| TM-10 | DATATRON 205 用 ALGOL 58 使用法について | 1963年 2月 | 高橋 利之 |
| TM-11 | 光弾性による高速車盤の縞模様 | 1963年 2月 | 永井 文雄 |
| TM-12 | コーティングの断熱効果に関する実験 | 1963年 3月 | 竹中 幸彦, 小川 幸一 林 洋一 |
| TM-13 | 遷音速における 45° 後退角の予備的実験 | 1963年 3月 | 中井 暎一, 小原 瑛 |
| TM-14 | 変断面片持梁固有振動数の一計算方法 について | 1963年 3月 | 中井 暎一, 小原 瑛 鳥海 良三, 安藤 泰勝 |
| TM-16 | フラッタ試験設備測定部交換ノズルの 予備試験 | 1963年 4月 | 中井 暎一, 橋爪 宏 高木 俊朗, 橋本 登 |
| TM-17 | VTOL 機用 Jet Lift Engine に関す る一考察 | 1963年 5月 | 鳥崎 忠雄, 松木 正勝 山中 竜夫, 藤井 昭一 |
| TM-18 | ヘリコプター振動のパワースペクトル 解析 | 1963年 6月 | 小野 幸一 |
| TM-19 | 吹出式超音速風洞による実験データの 処理方式について (I) | 1963年 6月 | 新井 忠, 原 亘利 |
| TM-20 | 1 m×1 m吹出式超音速風洞における AGARD標準模型Bの三分力試験 | 1963年 7月 | 高木 廣治, 谷 喬 斎藤 秀夫, 新井 忠 |
| TM-21 | 国産中型輸送機 YS-11 主翼疲労試験 (第1報) | 1963年 9月 | 竹内 和之, 飯田 宗四郎 北谷 虔勇, 中井 治夫 |
| TM-24 | 円輪と薄肉円筒の回転強度の関係 | 1963年 11月 | 永井 文雄 |
| TM-25 | DATATRON 205 用 ALGOL 58 の Procedures ライブラリ | 1964年 1月 | 高橋 利之 |
| TM-26 | 吹出式風洞の圧力制御 (フラッタ試験 設備の場合) | 1964年 1月 | 橋爪 宏, 中井 暎一 |
| TM-28 | 一段式観測ロケットの超音速風洞試験 | 1964年 2月 | 谷 喬, 原 亘利 榑原 盛三, 外立 政隆 |
| TM-29 | 遷音速フラッタ試験設備の改造および 整備試験 | 1964年 2月 | 中井 暎一, 橋爪 宏 安藤 泰勝, 高木 俊朗 |
| TM-30 | 二段式ロケット飛しょう体の揚力およ び圧力中心推定法 | 1964年 3月 | 小橋 安次郎, 宮沢 政文 |
| TM-31 | 亜音速ジェット輸送機の遷音速風洞に おける試験 | 1964年 3月 | 河崎 俊夫, 竹内 理 |
| TM-32 | 遷音速風洞防音 | 1964年 4月 | 牛田 健二, 高橋 宏 |

注：欠番は配布先を限定したもの

航空宇宙技術研究所資料33号

昭和39年4月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺町1880
電話武蔵野(0422)(3)5171(代表)

印刷所 奥村印刷株式会社
東京都千代田区西神田1~10