

振動接点による波長 10 mm 前後の電磁波の発振

庄野 久夫, 青木 賢司*

On the Generation of Microwaves in 1 cm Wave Length Region by Electrical Sparks between Vibrating Contacts.

H. SHÔNO and K. AOKI

ABSTRACT: The generation of microwaves by electrical sparks using constant gap of electrodes has been studied by many researchers. One of us reported in the previous paper on the production of waves between 1~3 cm wave length. In this article we report on microwaves generated with vibrating electrodes which are found to be more stable than in the case of fixed gap electrodes. We used waveguide and cavity resonators for the analysis of generated microwaves, and wave lengths between 7 mm and 15 mm were clearly observed. These method of production of microwaves may be used as a checker of microwave circuits, as really used in our laboratory.

(Received March 3, 1952)

I. 緒言

電気火花を用いて電磁波を発生させる実験は、1920年頃迄に数多く見うけられるが、発振には主として非常に小さいタングステンのダイポールを火花で励振するものが多かつた。またこれらはいづれも熱的検出法によつていたために利用の途も少く、殆どかへりみられなくなつていたが、近年鉍石検波器の著しい改良によつて、ふたたび注目をひくようになった。特にマイクロ波の領域では、その出力の不安定さはあつても、非常に広い範囲の周波数を同時に発生できる点は他の方法に比べて類例がないので、簡単な試験に用いる発振器として用いられるようになった。このうち1944年以来日本で行われた松本健氏の Decimeter 波の実験⁽¹⁾、林巖雄・阿部英太郎氏等⁽²⁾と霜田光一・林巖雄両氏⁽³⁾の 8—20 cm のマイクロ波の実験等は、いづれもアルミニウムの固定電極間の火花放電を用いて行われたものである。他方ア

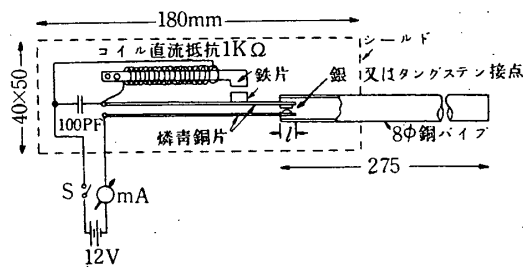
メリカにおいては A. W. Melloh⁽⁴⁾ は鉍石検波器を検出用に用いているが、発振は数組のタングステンドイポールを取替え、これを火花で励振する方法を用いて 4.59~10.1 cm の実験を行つてゐる。続いて 1946 年頃には空洞共振器と組合せたブザー接点の火花が 8.6~30 cm 用の広範囲な試験用発振器として用いられていたらしく、1950 年には G. L. Davies, C. B. Pear, P. E. F. White 等⁽⁵⁾ が 2.7~10 cm 用の同形式の発振器が発表された。また、筆者の一人は 1949 年にアルミニウム固定電極と空洞共振器を組合せて実験し 11~42 cm を⁽⁶⁾、続いて 1950 年にはアルミニウムおよびタングステンの固定電極による 1~3 cm を検出し、特に 10 mm 内外の火花発振にはタングステンなどの振動接点を用いることが有利であることを見出したが⁽⁷⁾、これに続いて我々は振動接点について稍くわしい実験を行つたのでこゝに報告する。この実験では波長 7 mm までの電波を得ている。なお、この場合用いた鉍石検波器の寸法が波長より大きいためにいろいろの困難が残つ

* 東京大学第二工学部物理工学科の学生であつて、卒業実験のために理工学研究所 熊谷研究室に来ていた。

ているのであるが、この点の研究は将来の問題である。ここでは発振の理論的考察や発振の絶対強度については研究を行わず、測定装置や方法についていろいろ検討してみた。

II. 振動接点と円形導波管による実験

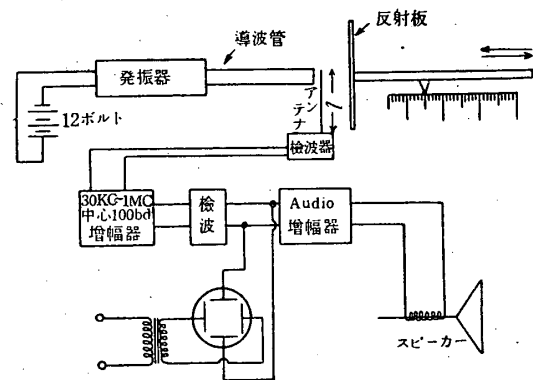
振動接点の火花について調べるために、先づ小型の通信用リレーを用いることにした。12ボルトで充分働き、30~50サイクルで火花を出す。又小型のために導波管との結合も容易であり、遮蔽も簡単である。しかし、通信用リレーでは陰極線オシログラフで見ると火花出力が全く不規則であり、SN比も悪いために接点を自動的に振動させることを止めて、外部から極めて低い周波数(200程度)で接点を振動させる方法を試みた。接点は銀及タングステン等である。リレーと導波管との結合及遮蔽の構造を第1図に示す。導波管は内径8mmの銅管を使用した。導波管と接点との結合の深さは出力に大きな変化を与えない。接点が大抵パイプの中にかくれる程度で充分である。但し接点の振動片が導波管に触れると導波管内を通らない長い波が強力に受信されて、マイクロ波の出力は問題にならなくなる。100pFのコンデンサーはあまり出力に変化を与えなかつた。又、外部から断続するときには構造は第1図と同じ



第1図 通信用リレーと導波管の結合

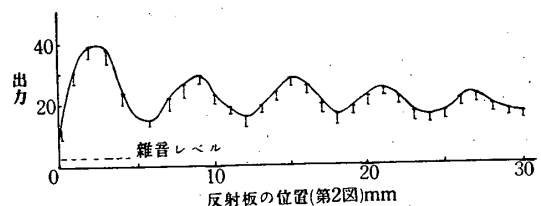
であるが、接点と電池、インダクタンス(1ヘンリー程度)を直列にし、接点をモーターによつて廻る偏心円で上下させて電流を断続させるものである。このとき、検波器は7~20cmの波長計として設計された空洞を使用した。これは林、阿部両氏⁽²⁾の製作によるものであるが感度もかなりよく、鉍石検波器の部分調節することが簡単であるためにかえつて便利であつた。アンテナはループの先の所で半田付にして長さを適当に変えられるようにした。

測定装置の概要を第2図に示す。最初の増巾

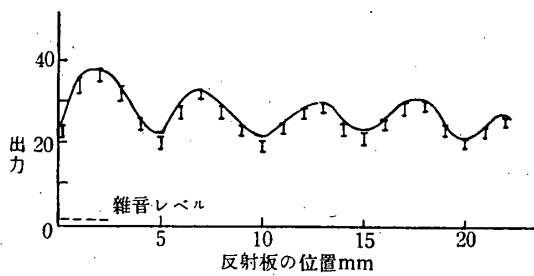


第2図 系統図

器は帯域巾が大抵30KC~1MCのもので、今迄使用したものを⁽¹⁾一部改造したもので、中心の増巾度は約100dbである。シールド管を少し除くと種々のラジオ放送が同時に入る程度のものである。これについては後にものべる。次の検波は76で行い陰極線オシログラフでみる。なお、この出力の一部を可聴周波増巾器に入れてスピーカーを働かせると、出力の大小が耳で判断できるのでいろいろの部分の調節に便利であつた。アンテナは導波管口より1mm程度の所に管口面と平行におき、しかもリレー接点の両電極を結ぶ線と平行にする。アンテナの先は管口面の中央位が最も感度よく、アンテナを上記述べた方向より直角に配置すると出力は完全に零となつた。反射板は波長測定用のもので図の矢印の方向に移動することにより管口との間に定在波を立たせ、波長を直接測定するのである。反射板は5cm²位のものでよかつた。出力はブラウン管面の目盛でよむ。時間軸掃引をやめて縦軸だけふらせると案外正確に出力を定めることができる。図の直径8mmの導波管の遮断波長は12.9mmである。第2図に示す装置での実験結果を第3図に示す。これにとると空洞波長12.0mmのものが明らかに検出される。図の測定点の縦の長さは出力の変動範囲である。又単に出力最大及最小の位置はスピーカーの音を聞くだけでも知ることができる。直径7mmの導波



第3図 8mmφ導波管の場合の出力



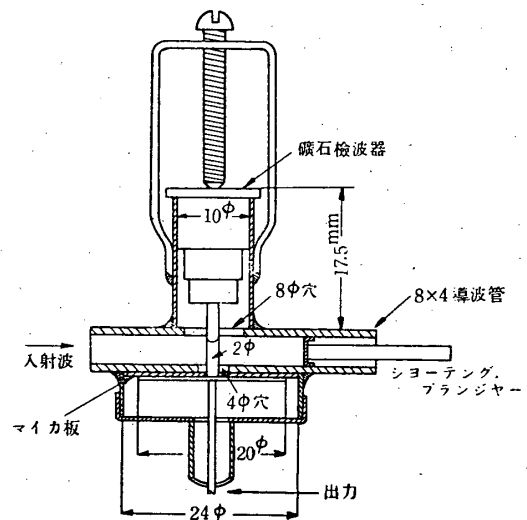
第4図 7mmφ 導波管の場合の出力

管を使用した場合の結果を第4図に示す。これによると空間波長 10mm のものが最も優勢である、S/N比は 40~50 で 8mm の場合よりも最大最小の差が小さくなることから出力の波長分布がやゝ広くなつたように見える。接点にはタングステンを使い、接点の周囲にラップをつけて、この附近の共鳴現象をできるだけのぞくように、又接点から導波管の外にのがれる電磁波を減らすように反射板をつけるなどいろいろ試みたが、波長分布、出力などに特に大きい変化はみられなかつた。又接点をブザーのように自発的に振動させるのをやめて、外部から前にのべたようなカムを用いて毎回の断続を正確に行わせようとした結果は、S/N比が良好になり、測定も正確になつたが、発振波長に大きな変化はなかつた。

III. 振動接点と 4×8mm 導波管による実験

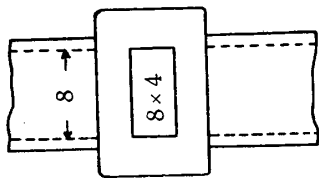
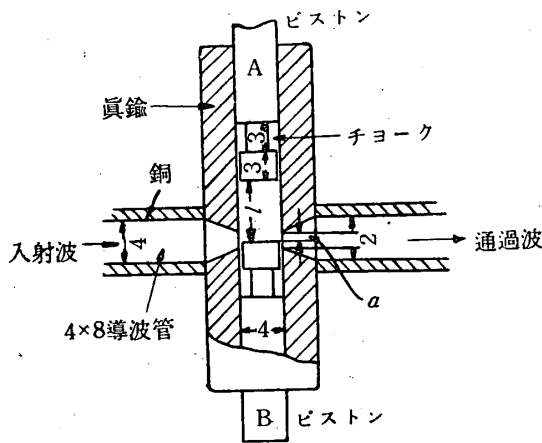
以上の実験では極めて簡単な方法で、波長10mm 附近の電波の存在を確かめたが、更に結果を確実にするために、振動接点を矩形導波管に結合した回路で実験を行うことにした。II では陰極線オシログラフで出力を測定したが、以下の実験では真空管電圧計をつかつて出力測定の精密化を試みた。又導波管としては 4mm×8mm のものをつかい、これに鉱石検波器を装置し、波長計もつけて発振のありさまをくわしく調べることにした。はじめは単に II の場合の円形導波管を変形して、4mm×8mm の矩形とし通過状況を調べた。次に 1ヶ所づついろいろの部分を取換えて実験を進めた。以下、主な装置と回路についてのべる。

まづ検波装置は第5図に示すもので、10mm 附近の波長で使用する検波器の構造については詳しい設計資料が得られなかつたので、とりあえず Gordy⁽⁸⁾ がつかつた 4mm 前後の波の検波装置にならつて製作した。第5図に示す導波管は銅管を鍛造し矩形にしたもので、1/10mm 程度の精度



第5図 検波装置

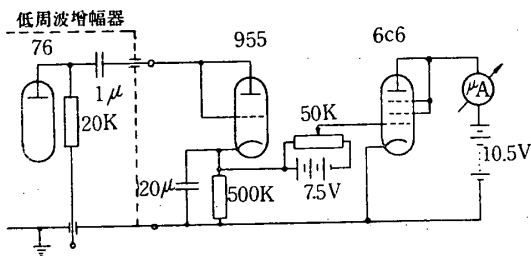
を持つていた。鉱石検波器は第5図のように稍大型のものをを用いたが、ある程度の感度は得られた。(後に小型の標準 IN 型についてもしらべた)。実際にはこの附近の波長では鉱石検波器の大きさが波長より大きくなるために、インピーダンスの整合について問題があつたが、この範囲の発振用真空管が入手困難なので、これらの問題についてはくわしくしらべることはできなかつた。さて我々の実験では、検波された直流出力は薄い雲母板の絶縁によつて取り出され、マイクロウェーブの成分は導波管にバイパスされるが、出力の中には数百 Kc/s の成分を多く含むので⁽⁹⁾ 低インピーダンス高周波ケーブルで広帯域増巾器にみちびいた。同調ピストンの導波管との接触面はあまり正確な平面にすることがむづかしかつたが、案外よく働いた。鉱石検波器の前方の整合ピンは直径 3mm のビスをそのままつかつた。ショーテングプランジヤはねぢで移動させた。フィルターは第6図に示すもので、波長 12mm 附近のために設計したものである。たゞし、この附近では校正用の発振管がなかつたので、勿論 Q 値も不明で、波長計としてどの程度役立つかも明かではなかつた。原理はピストン A, B を動かすことによつて波長を求めるもので、第6図の l の値により波長が計算される。たゞし空洞の切口は導波管のそれと同じであるし、振動姿態も同じもので計算上便利であつた。また窓の間隙は導波管の中全長(8mm)にわたつて切つてある。これは広い波長範囲にわたつて同程度の Q 値を与えるためであ



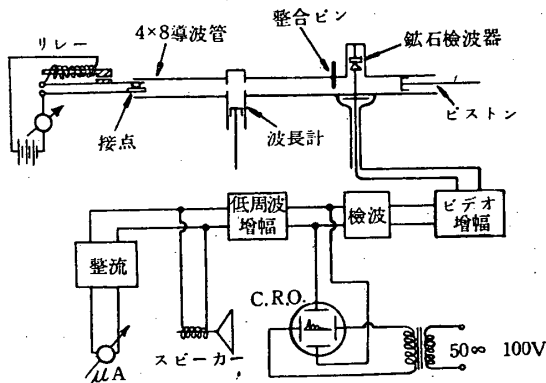
第 6 図 フィルター

る。

(II) の場合は出力のふらつきが 20~30% 程度で波長測定にも精度を欠いたので、これを安定化するために第 7 図のような簡単な回路を作った。図の低周波増幅器は検波装置の最終段である。しかしながら、火花発振では出力の変動は本質的に避け難いので、検波電流を約 10 sec の時



第 7 図 出力安定部

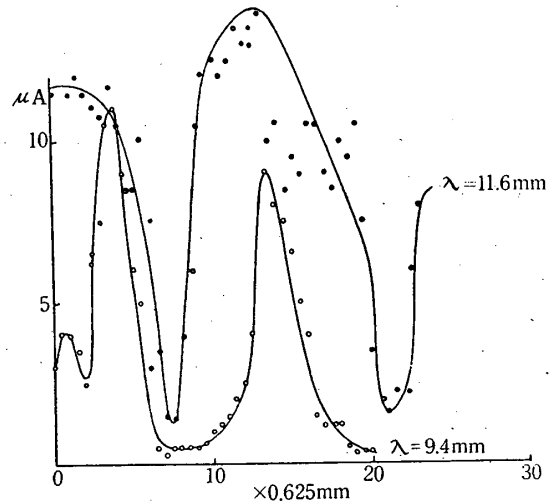


第 8 図 装置系統図

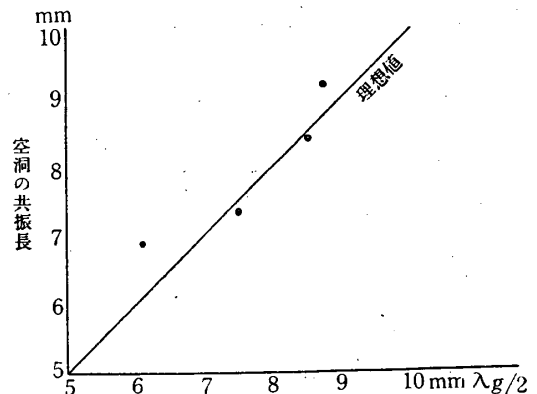
定数で平均したところかなりの効果があつて測定は充分能率的であつた。

全体の測定系統図を第 8 図に示す。リレーは (II) に用いたものである、整合ピンを適当な位置に置き、フィルターのよみに対して鑛石検波器後部のピストンを動かして出力を測定する方式である。導波管と振動接点との結合はあまり問題にならず、大体接点が導波管内にかくれる程度でよかつた。出力の安定はかなりよく 5~6% 程度の変動に止めることができた。

フィルターのよみに対して、鉍石検波器後部のプランジャーで波長を測定した結果が第 9 図である。これによると、波長 9.7~11.6mm の発振が得られる。又これらの結果と、フィルターの共振長 (理論値) とを比較したものが第 10 図である。空洞の壁の損失がなく窓が小さい場合は共振長は図の直線となる筈であるが、実測値はかなり異つている。なお、この実験ではシールドの良否で結果は左右されてしまうので、発振部は勿



第 9 図 Shorting piston の位置による出力変化



第 10 図 管内波長と空洞の共振長

論、検波出力を導くケーブルの表面なども長い波長の電波が伝わる傾向が強く、各部分はそれぞれ金属の箱に収め、接地し、検波部とその出力の引出し線附近を金網で覆うなどの事をしてかなりの効果を得ることができた。しかしこの場合波長を正確に測定するために、フィルターの Q 値を大きくすると発振波長分布が連続であるので、通過帯域がせまくなりそれだけ出力は減少し、これは両立しない問題であつた。

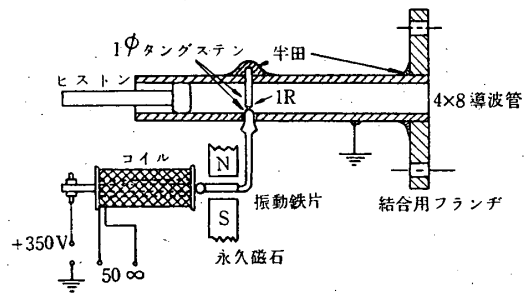
IV. 50 サイクルで振動するタングステン

接点での実験

以上行つた実験はすべて既製のリレーをそのまま利用するか、あるいは接点に多少の改良を試みただけであつた。このときリレーに供給する電圧を 6V から 12V に変えるだけでも出力の増加が認められるのであるが、リレーの捲線の安全電流、インダクタンス、直流抵抗、または接点の構造、材質などにも関係があり、火花放電の為に消費させ得る電力にも限りがあつた。そこで一方法とし、直流の高圧を 50 サイクルで、消耗の少ないタングステン電極をもちいて断続を行わせ、その際に発生する火花放電の中から 10mm 内外の電波を見出すことにした。50 サイクルで振動させたのはなるべく規則正しく断続が行われ、しかもそのくり返しが相当頻繁に行われるためであり、直流高圧を使用したのは直流は交流に比べて発振を継続する時間が長くなるからである。またそれがたとえ直流でも接点は高速度で振動しているため、12V 程度の電圧をリレーのインダクタンス等を通して供給しても、殆ど電流が流れず、また出力も得られなかつたので、350V 程度の高い電圧を使うことにした。

次に整合及び波長測定を明確に行うため導波管に側路をつけ充分長くし、管内に定在波をいくつも入れて波長を平均的に求めた。また接点の後方にもピストンを設けて整合点を求めることと、導波管の種々の部分による共振をさけるようにした。更に実験の後半では手製ではあるが新しい空洞濾波器を作つて実験した。また第 5 図では鉱石検波器が大體同軸上に入っているから、この同軸の長さを或る程度変える実験をした。

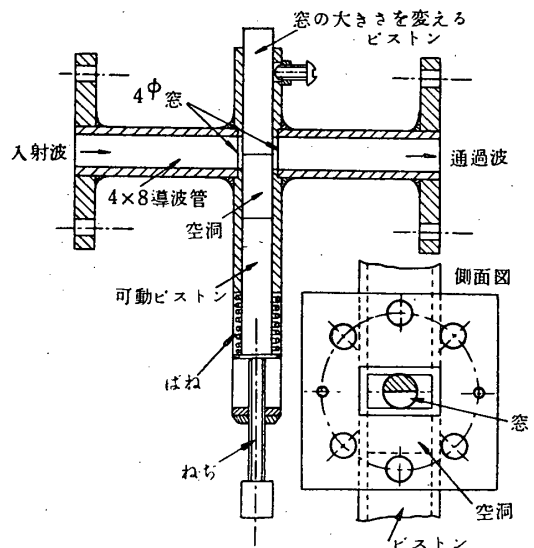
接点の構造を第 11 図に示す。固定接点はやゝ小さめな穴にタングステン棒を打ちこみ半田で上



第 11 図 振動接点の構造

からかためた。又振動接点は鉄にタングステンをかしためしたものを利用して、鉄と銅線とを半田付して作つた。両接点の接触部分はグラインダーで丸みをつけた。

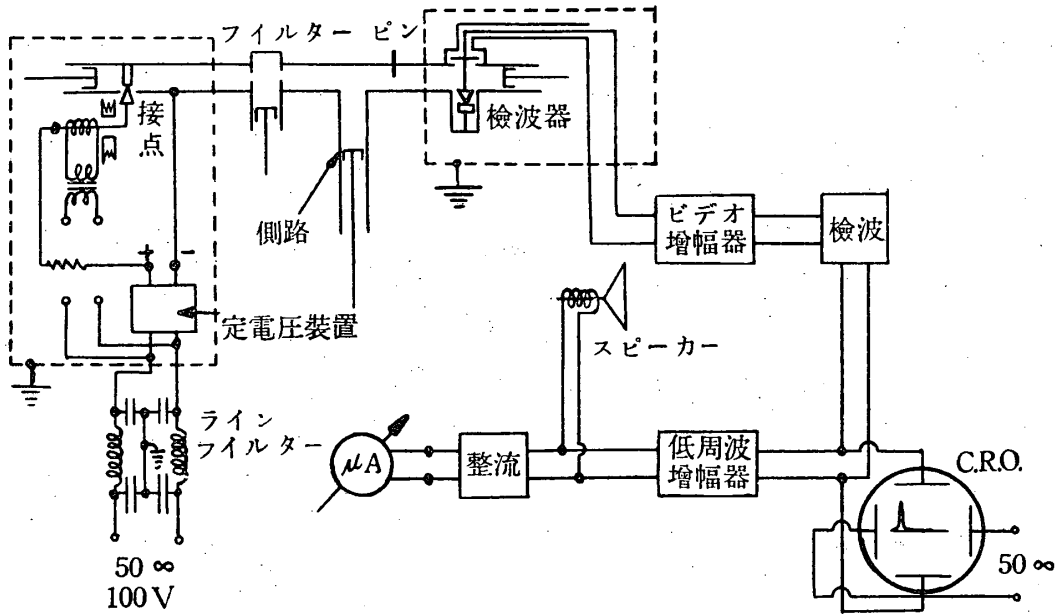
また導波管 (4×8 mm) を使用して空洞共振器を作つた。第 12 図にその大體の構造を示す。底のピストンで空洞の窓の大きさを変えるようにし



第 12 図 空洞共振器

た。穴の大きさは直径 1mm のものから逐次大きくして行き、通過波が大體検出できるような大きさを実験的に求めて 4mm に到達した。図の如くピストンを窓の中心に止めたときには負荷 Q 値は 100~200 程度と考えられる。

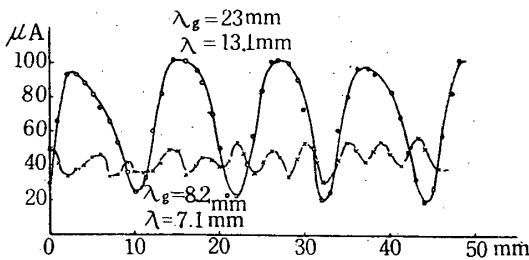
測定装置の系統図を第 13 図に示す。火花安定抵抗は 350V 印加の場合 25kΩ で出力最大となつた。火花電流は 2~3mA 程度であつた。100kΩ では出力は殆ど出なくなる、又印加電圧は 250ボルトから発振を開始し、350ボルトまで増加するが装置の都合上 350ボルトで止めた、振動接点は静止した場合固定接点にかなり強く接触してい



第 13 図 系統図

て、振動させた場合かすかに離れる程度で最もよい結果が得られた。交流 100 ボルトの線に設けたフィルターは長波長の電波が漏れて増巾器に到達することを防ぎ、又他の各種実験に及ぼす影響をなるべく小さくする目的であつて極めて有効であつた。

第 12 図に示すフィルターを用いて波長を測定した結果を第 14 図に示す。縦軸は出力、横軸は

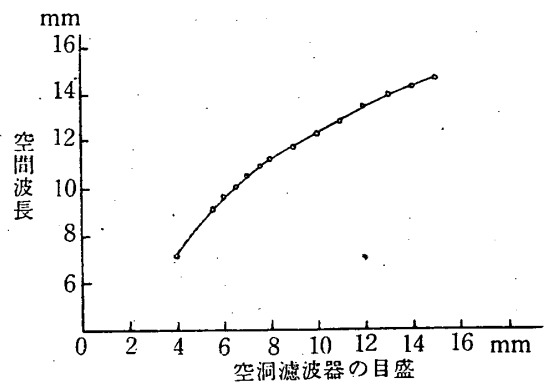


第 14 図 側路ピストンによる出力変化

側路の長さである。空洞の窓を $\frac{1}{4}$ 以上閉ざると、第 5 図の鉱石検波器の同軸の位置を変えることによつて広範囲な波長を観測することができる。鉱石検波器の先端に銅棒を半田付してその長さを適当に変えることは整合上極めて重要な点であつた。今まで使用した濾波器では窓を極端に細くしないと濾波器として効かなかつたが、この場合手製の空洞ではあるが、これと鉱石検波器の位置とを組合せることにより波長分布の中心を移動させることが可能となつたのである。濾波器がかなり

の Q 値で働いていることは第 14 図の曲線が側路の長域にわたつて繰り返していることから推定される。第 14 図には波長 13.1mm と 7.1mm との場合について描いたが、他の波長ではこの二つの曲線の中間の状態を示す。波長 7.1mm では最大最小の繰り返しが略確定する程度である。7mm 以下でも出力としては通過していることが認められるが、側路のピストンでは測定困難である。第 14 図からわかるように出力自体も小さくなつている。

第 15 図は濾波器の目盛と発振波長との関係



第 15 図

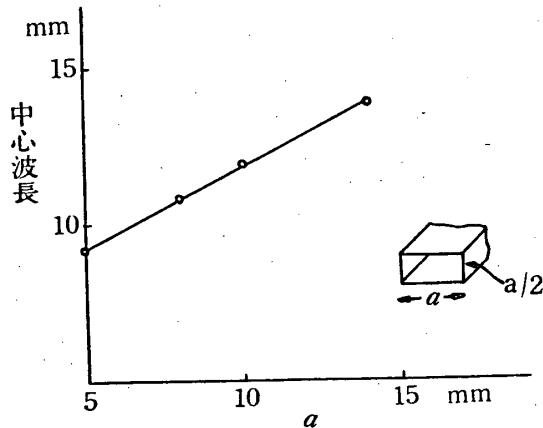
(実測値) を示すもので、波長 7.1~14.4 mm までのものが検出される。4×8 mm 導波管では波長 8~14 mm 程度が最低次姿態 (TE₁₀) の領域であり、14mm 以上は損失が大きくなり 8mm 以下では高次姿態発生のため整合が困難である。そ

ここで第 15 図に示す結果は使用する導波管の帯域からいつでも大体よきできる波長分布といふ得るであろう。尙この実験では振動接点の後部のピストンが非

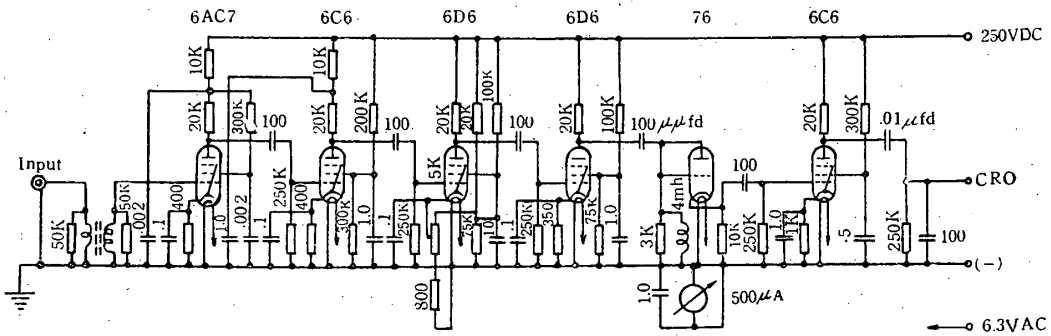
常に鋭い共振性を示した。濾波器のピストンの一つの目盛に対して通過波を求めるために多くのピン、ピストンを一つ一つ調節せねばならなかつた。いろいろの部分に吸収体を入れて各部の結合をゆるくして実験を行えば濾波器一つで波長が変えられるであらうが、出力が小さいのでそうすることができなかつた。

以上の実験で確実に成ったことはリレーによる発振と、直流高圧による発振とで発振波長分布にあまり変化はないことである。空洞濾波器その他の改良によつて第 15 図のような結果が得られたが、これは発振出力がリレーの場合に比べて約 3 倍程度上昇したことによるものである。

次に第 13 図に示す振動接点の部分の立体回路的な構造をいろいろに変えて（例えば空洞の底で火花を飛ばす）、これを 4×8 mm 導波管で導き第 14 図の検波回路で受信してみたが波長に大きな変化は得られなかつた、又導波管の寸法は 4×8 mm の他に、 7.5×14 mm, 5×10 mm, 2.5×5 mm 等のものについて行い、上と同様な実験（但し、



第 16 図

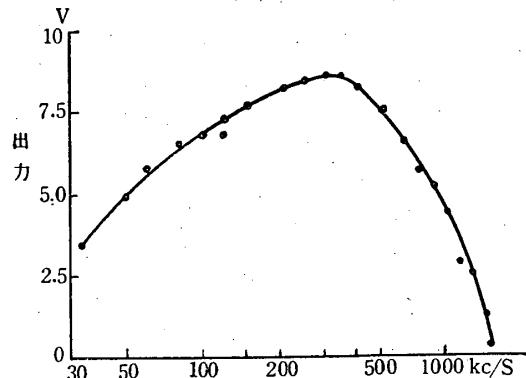


第 17 図 ビデオ増幅器結線図

鉱石検波器の部分は 4×8 mm 導波管に、テーパ回路で結合する) を行い最も強力な発振波長（波長分布の略中心波長）として、第 16 図のような結果をえた。a: (導波管の遮断波長の $\frac{1}{2}$) の増加と共に発振中心波長が増加することがわかる。回路が相似的に大きくなれば中心波長は同様に比例的に増加する筈であるが、図の直線は横軸と 45° より小さい角をなしている、これは、導波管 4 種の場合にいづれも第 5 図に示す検波器を使用したことに原因し、鉱石検波器を含む回路に固有の共振波長がなお波長分布に或る程度影響しているように見える。これから火花放電は単に共振回路を励振させる作用だけを有していることがわかつた。なお 4×8 mm の導波管による減衰はこの長さを 5 m にした場合でも、出力に殆ど変化が認められない程度に少かつた。

V. 増巾器

以上の実験に使用した広帯域増巾器は、これま



第 18 図 ビデオ増幅部の特性

での実験⁽⁶⁾⁽⁷⁾ に用いたものを初段の真空管を 6AC7 に変更したもので、回路図を第 17 図に、周波数特性を第 18 図に示す。鉱石検波器の出力

は 70Ω の同軸ケーブルで導びかれ、ダストコア一入り変圧器で整合され 6AC7 に入れる。このとき 6AC7 を 3 極管接続にすると 6AC7 の出す熱雑音は 5 極管接続の場合に比べて減少するが、2 段目の球の雑音が利いてくる点と、全体としての増巾度が低下するので、専ら 5 極管接続で用いた。また 鉱石検波器の雑音が 6AC7 の 5 極管接続の時の雑音に比べても 2—3 倍大きかつたので、全体としての SN 比は 鉱石検波器の特性が一番大きく利いていた。増巾度の調節は 6D6 のバイアス電圧を加減して行い、出力は整流後マイクロアンメーターでよみとり、一部はビデオ増巾を行いブラウン管で波形を監視した。なお電源はプレート電圧を定電圧放電管で安定化し、ヒーターは交流で点火した。更にこれらの電源の 1 次 100 V に鉄共振安定器を入れて用いた。その外、この増巾器では大部分の増巾を数 100KC の附近で行っているため、電源回路のハムや、火花発振器から出る低周振の変動の影響が特に小さかつた。

VI. 結論

以上の実験は振動接点から出るマイクロウェイブの中で、特に 10 mm 近辺の波長に重点を置いて行われたもので、今迄に行われた一定間隙の火花発振に比べて簡単で SN 比もよく、また確実にこの領域の波を取出し得ることができた。これは波長 2~10 cm 程度の発振について言えば、電極面積が小さく、間隙数も 1 個の場合のみに可能であつたので、従来実用化された固定接点方式⁽²⁾⁽³⁾などに比べて出力も小さいが空気中の火花から微弱ながら数 mm の波長の電波が検出されることが見出された。一方この火花放電による

電波は実に広い範囲にわたっているのも、その出力の不安定のため定量的な測定に用いるには困難はあるが、マイクロウェイブのいろいろな装置の簡単な試験、特に 鉱石検波器などの試験には至極簡便である。特にプザー型式の場合には電源に乾電池の使用も可能で、これを一体にして金属のケースの中に入れ、導波管を通じてマイクロ波を引出せば、試験用発振器としての利用の途は多いと考えられる。実際に我々の研究室では波長 15mm の範囲でこのような試験用発振器を使用している。

終に本実験を直接指導して頂いた熊谷寛夫教授に深く感謝する。また実験中多くの助言を与えられた熊谷研究室の林巖雄、阿部英太郎両氏並に、助力を快く与えられた岩永賢三氏に対し心から御礼を申し上げる。

文 献

- (1) 松本健：応用物理，15，(1946) 21.
- (2) 林巖雄，阿部英太郎：理工研報告，3 (1949)，9，253.
- (3) 霜田光一，林巖雄：応用物理，19 (1950) 143.
- (4) A. W. : Melloh : *Proc. I.R.E.*, 28 (1940) 179.
- (5) G.L. Davies, C.B. Pear Jr., P.E.P. White : *Electronics*, 23 (1950), August, 96.
- (6) 熊谷寛夫，山田和郎，庄野久夫：理工研報告，4 (1950)，7.
- (7) 庄野久夫：理工研報告，5 (1951)，205.
- (8) W. Gordy : *Rev. Mod. Phys.*, 20 (1948) 668.
- (9) 山本賢三，長谷部堅陸：電気学会誌，69(1949) 161, 363.

(1952 年 3 月 3日受理)