U.D.C. 621.396.619

4,000 MC P.T.M. 送受信機

高田昇平* 関口存哉**
安藤文雄*** 宇佐美襄****

4,000 MC P. T. M. Transmitting and Receiving Set

By Shōhei Takada, Ikuya Sekiguchi, Fumio Andō and Noboru Usami
Central Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

Trial manufacture of 4,000 MC 23 channel P.T.M. transmitting and receiving set on the specification of the Electrocommunication Laboratory has recently been completed. This article treats of its construction and performance in detail.

The transmitter, employing magnetron, gives an output averaging upward of 6 W, and the fluctuation of its frequency is restricted within 2×10^{-4} by means of automatic controlling device.

The receiver on the other hand is designed in super heterodyne system in which balance type frequency converter is used.

The variation of its local oscillation frequency does not exceed 2×10^{-4} owing to automatic frequency controlling in independent synchronizing system. Further, overall noise figure of the receiver proves to be 13.1 db.

This trial machine, moreover, being intended for communications over around 50 km of distance on an open area and for relaying, has shown in the test excellent performace with its ratio of signal to noise and crosstalk attenuation both exceeding 60 db.

〔I〕 緒　　言

元電通省電気通信研究所の仕様による 4,000 MC P.T.M. 23 通話路送受信機の試作が完成したので、その構造及び性能に就いて報告する。同送受信機は通研の東京中央電話局——横須賀、大楠山間の試験回線でフィールド、テストを行つたが、信号対雑音比、漏話減衰量共に 60 db 以上という満足すべき結果が得られた。

〔II〕 試作研究経過概要

P.T.M. とは Pulse Time Modulation の略で、パルス波を信号によつて変調し、通信を行う方式である。日立製作所では昭和 15 年既にその原理(後述)に気が付き、翌 16 年高周波通信方式として特許を申請し、同 19 年に許可された[1]。戦後本方式に基く多重通信が米国でも実施されておる事が判り、かなり有望なものとの期待が持たれたので、再びこれを取上げて基礎実験を始めた。そしてインパルス管を使用した P. T. M. 多重通信方式[2][3]による送受信機の試作を計画したが、昭和 25 年に至り電通省（現在電信電話公社）電気通信研究所（以下通研と呼ぶ）に於て東京中央電話局——大楠山（横須賀附近）間の 4,000 MC 23 通話路 P.T.M. 試験回線の計画が発表され、各製造会社の協力が望まれたので、日立製作所も通研仕様による送受信機を試作する事となつた。試作は、その後の社内事情のため予定よりも若干遅れて昭和 27 年 7 月に完成し、同年 8 月通研立会のもとに上記試験回線に於てフィールド、テストを行つた。この結果は後述の如く、比較的良好なものであつた。

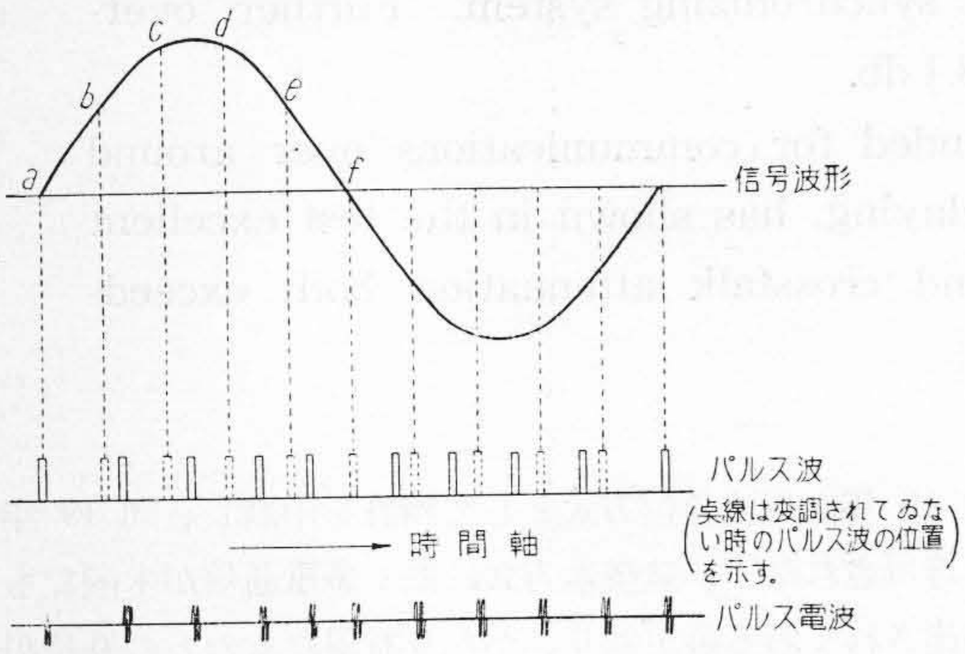
* ** *** **** 日立製作所中央研究所

〔III〕 P.T.M. 方式の原理

既述の如く日立製作所に於ては戦前既にパルスによる通信を提案し、最初の実験を行つた。その方法は**第1図**の如く高周波の電波をある周期を置いて衝撃的に送出し、その周期即ち時間軸上の位置を送るべき信号波形の振幅に比例して変調するものである。受信側に於ては特殊な回路を用いて、元の信号波形を復元することが出来る。その後、この他にパルスの巾を変調する方式、振幅を変調する方式等が考えられているが、現在主に用いられているのは時変調による方法である。

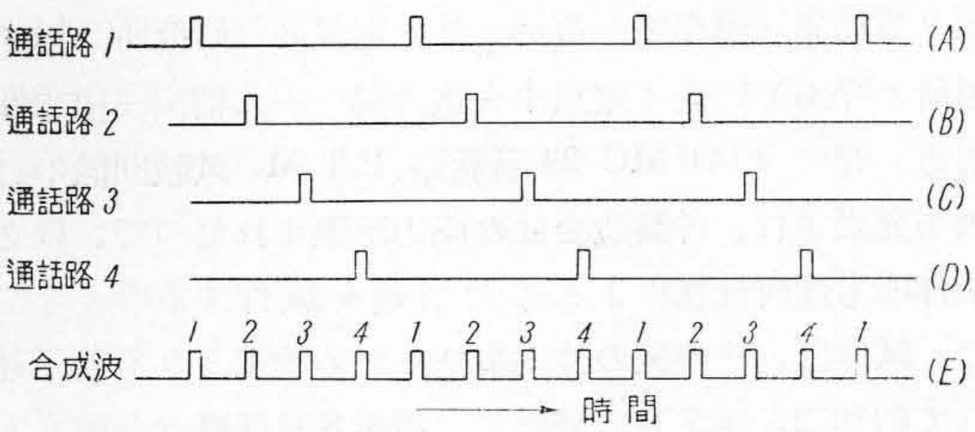
パルス波による通信は雑音の影響を減少せしめ得る利点があり、特に無線の場合には同一の送信管を用いて連続波に於けるよりも遙かに大なる尖頭出力を出す事が出来る。更に重要な利点は多重通信を行い得る事である。

即ち、**第2図**に於て (*A*)(*B*)(*C*)(*D*) をそれぞれ通話路 1, 2, 3, 4 を表現するパルスとし、各パルスの時間軸上の位置を図の如くづらせておいて全部を重ねると (*E*) の如き合成パルス波が得られる。この波形を送信側より送り出し、受信側ではこれを元の (*A*)(*B*)(*C*)(*D*) の波形に分離すれば各通話路が互に干渉する事なく送られ多重通信を行う事が出来る。パルスの巾を狭くして行けば通話路数を増加することが出来るが、現在の技術では 23 通話路程度が限度である。尚受信側で各通話路の分離を行うために送信側より一定の同期信号を送る必要があるので、通話パルスの間に同期用のパルスを入れるのが普通である。



第1図 パルス時変調通信方式

Fig. 1. Pulse Time Modulation System



第2図 時分割受量の方法

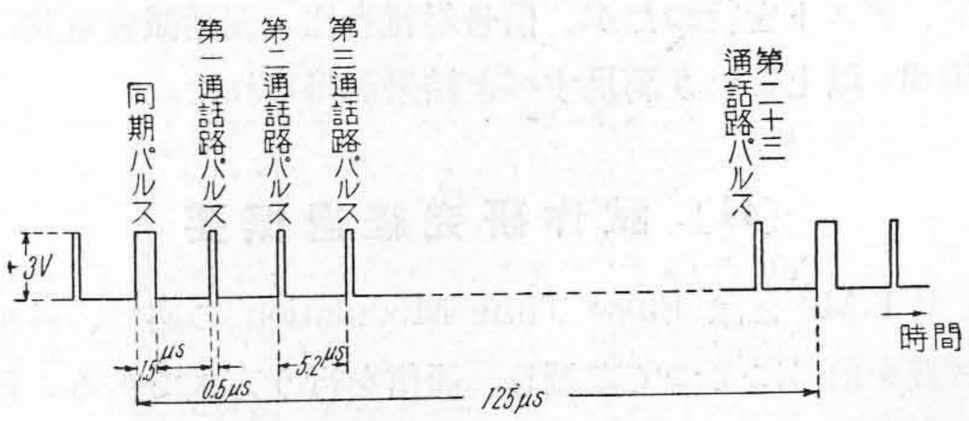
Fig. 2. Method for Time Division Multiplex

パルスによる通信は以上の如き利点を有するが、実際には伝送中に波形が変化し裾を引くような事があると隣接パルス間に干渉が生じて漏話の原因となる他雑音の影響を受け易くなつてこの利点が失われることになる。音声信号で変調されたパルス波の周波数成分は音声周波数からパルスの巾に対応する高い周波数にわたつているので、波形を忠実に伝えるためには伝送回路の周波数特性が広帯域である事が必要である。

〔IV〕 装置の概要及び性能

始めに送受信機に関する通研の規格に就いて簡単に説明する。同規格の主要な点は次の通りである。

使用周波数……3,900～4,200 MC
分割通話路数……24分割23通話路（打合せ通話路1を含む）
通話路周波数……300～2,700～
周囲条件
　電源電圧……200 V ±2%
　電源周波数……50～60～ ±5%
　気温……−5～+35°C
　湿度……40～90%
　フェーディング……+10～−20 db
送信機
　入力パルス……パルス波形（**第3図**）
　入力インピーダンス……150 Ω ±10%
　送信出力……6 W 以上（平均値）
　送信周波数安定度……2×10^{-4} 以下
　所要電力……約 2 kW
受信機
　標準入力……−32 db m
　綜合雑音指数……18 db 以下
　影像信号レスポンス……−30 db



第3図 パルス波形（無変調時）

Fig. 3. Pulse Wave Form

自動周波数制御....独立同期式局部発振周波数安定度 2×10^{-4} 以下

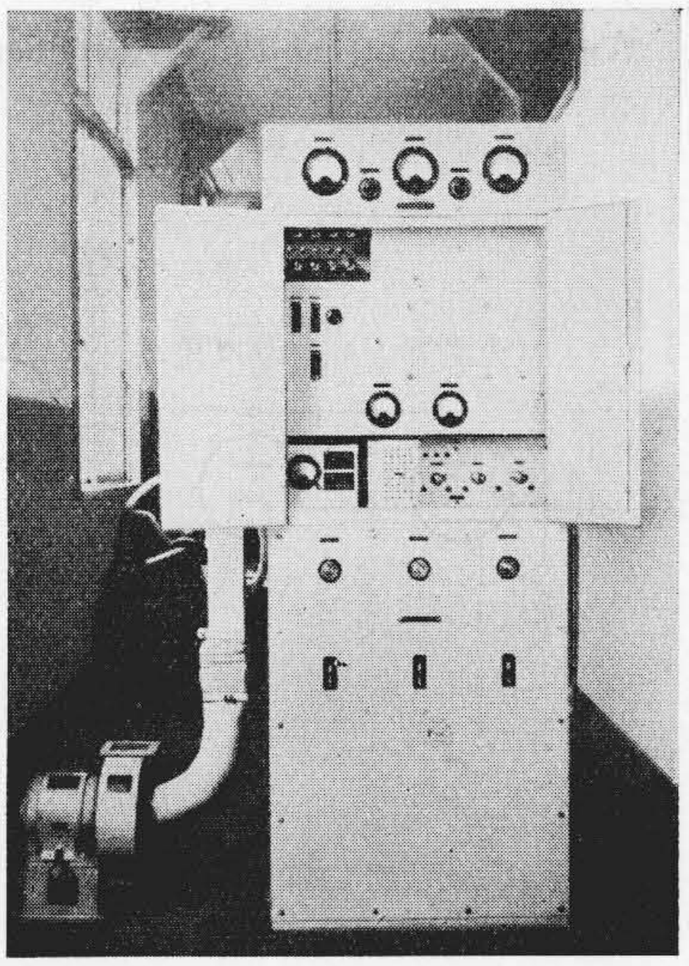
出力パルス.....パルス波形(**第3図**)

出力インピーダンス.....150 Ω ±10%

所要電力.....約 500 W

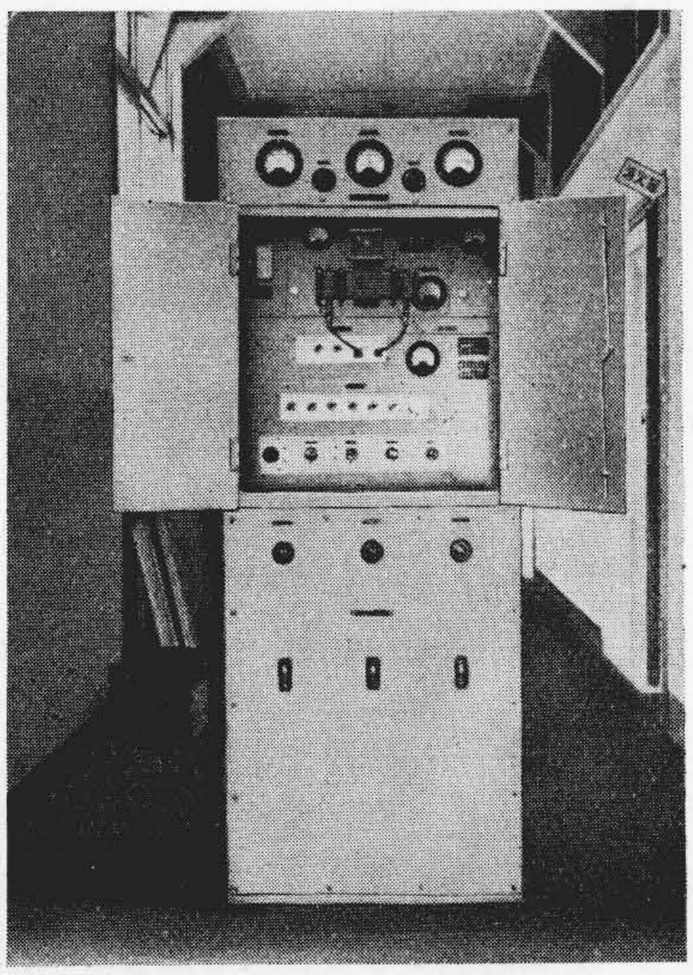
送受信機共以上の通研の規格に従つて設計試作を行つた。規格の詳細に関しては各部の説明の際述べる事とする。

第 4, 5 図に送信機及び受信機の外観を示す。いづれも筐体の寸法は高さ 1,820 mm, 巾 700 mm, 奥行 350 mm でその上半分は送信部又は受信部になつており、下半分が電源である。送信機には筐体の横に換気用送風機が附属している。



第4図 送 信 機 外 観 (前 面)

Fig. 4. General View of the Transmitter (Front)



第5図 受 信 機 外 観 (前 面)

Fig. 5. General View of the Receiver (Front)

(1) **送 信 機**

送信機の性能の概略は次の通りである。

送信出力 発振管としてマグネトロン M-750 を用い平均 6 W 以上。

周 波 数 マグネトロンを交換することにより 3,900 ~4,200 MC の範囲の任意の一波を送出し得る。

周波数安定度 センシング法による自動周波数制御装置を有し、発振周波数偏差 $\pm10^{-4}$ 以下。

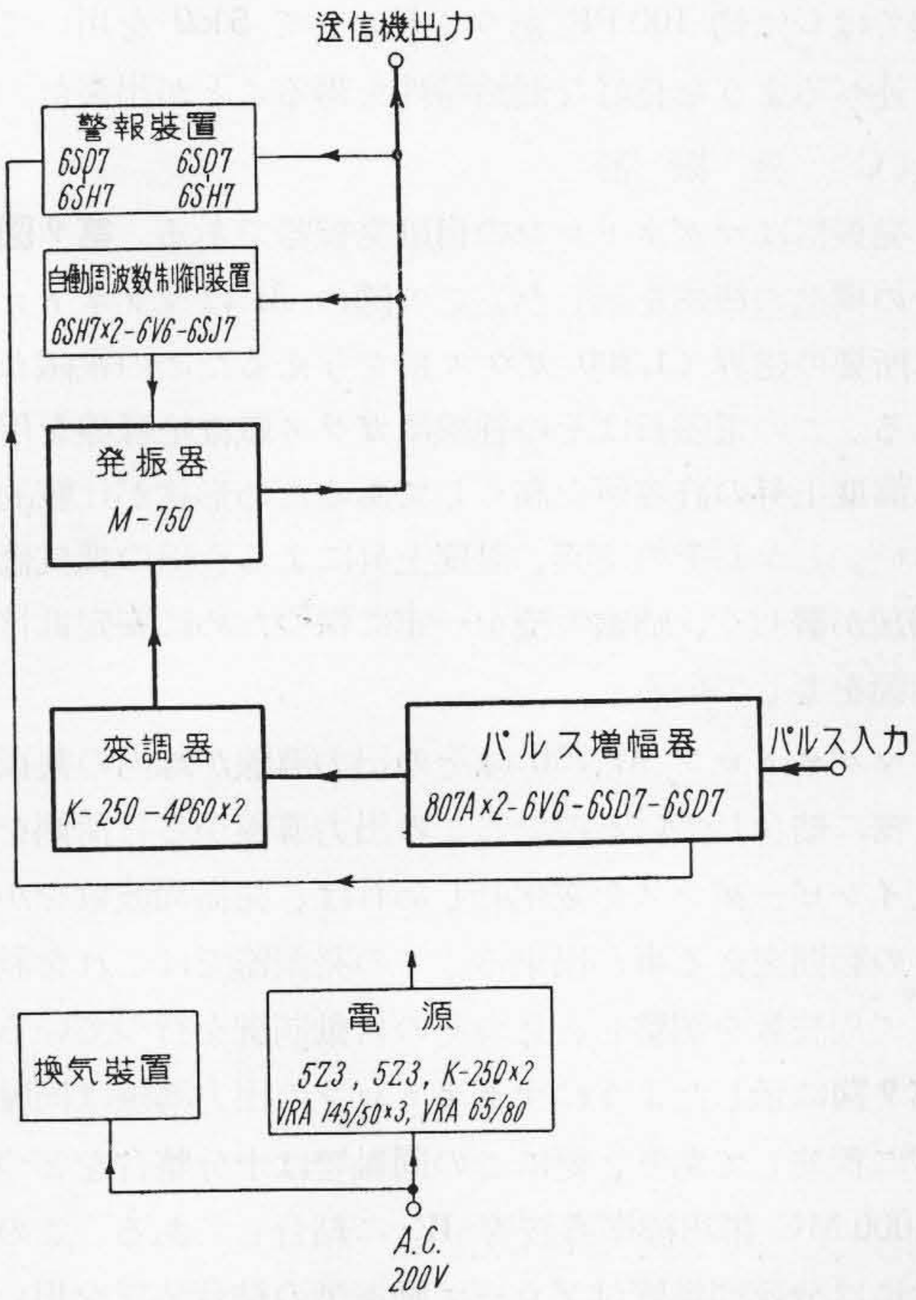
所要電力 商用 200V 電源を使用し、消費電力1.8 kVA

第 6 図が送信機の系統図である。図に太線で示したパルス増幅器、変調器及び発振器の三つは送信端局から送られて来るパルス信号を極超短波パルスとして送り出すための最も主要な部分であり、この動作を完全ならしめるための装置として自動周波数制御装置、警報装置及び換気装置が附随している。又、これら全装置に所要の電圧、電流を供給するための電源があり、**第 4 図**に示した筐体の下半分を占めている。

次にこれら各部分の構成及び機能に就いて説明する。

(A) パルス増幅器

パルス増幅器は送信端局から同軸ケーブルで送られて来るパルス信号(尖頭値 +3V)を尖頭値約 +250 V に増



第6図 送 信 機 の 系 統 図

Fig. 6. Schematic Diagram of the Transmitter

幅しこれを変調器に供給する。既述の如くパルス増幅器には、波形の歪を避けるため広い周波数範囲にわたつて一様な増幅度を有する事が要求されるが、この送信機のパルス増幅器の増幅度は 400∽～1 MC の間殆ど一様で、270∽ 及び 2 MC で 1.5 db 低下する。この増幅器の出力電圧波形を**第7図**に示した。

（B） 変 調 器

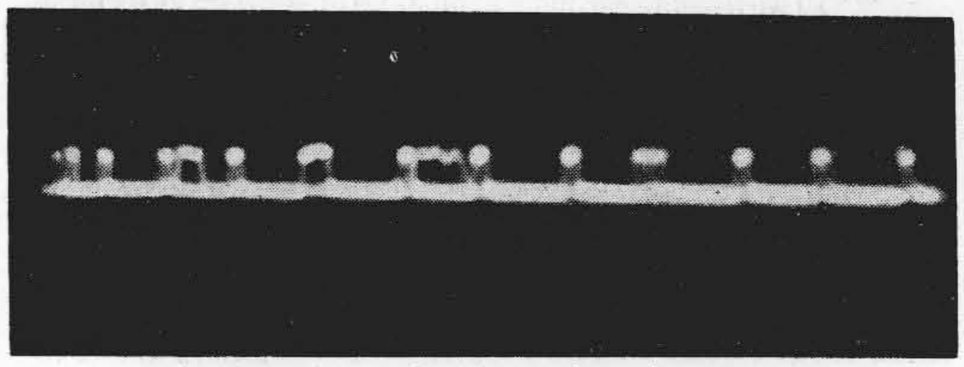
マグネトロン M-750 を動作せしめるには約 2.5 kV の尖頭値を有する高圧パルスが必要であるが、変調器では上のパルス増幅器の出力を更に増幅して、このような高圧パルスを発生する。このための回路としては**第8図**に示したように、普通の抵抗容量結合増幅器の出力側漏洩抵抗を二極管で置き換えたものを使用した。マグネトロンは陽極を接地し、陰極に変調器出力の負パルスを加える。この回路では、変調管の格子に正パルスが加わりその陽極に負パルスが発生した時二極管（漏洩抵抗管）は通電せず、出力電流が全部マグネトロンを流れるので普通の漏洩抵抗を使用する場合に比して能率良く変調が行われる。

変調器に対しても、パルス増幅器に於けると同様に出力波形に歪の少いことが要求されるが、このためには**第8図**に示した漂遊容量 C 及び陽極負荷 R を出来る限り小にしなければならない。しかしこのように出力レベルが高い所でこれを実現することは容易ではない。この送信機では C は約 100 PF あり、R として 5 kΩ を用いて後に述べるような良好な漏話特性を得ることが出来た。

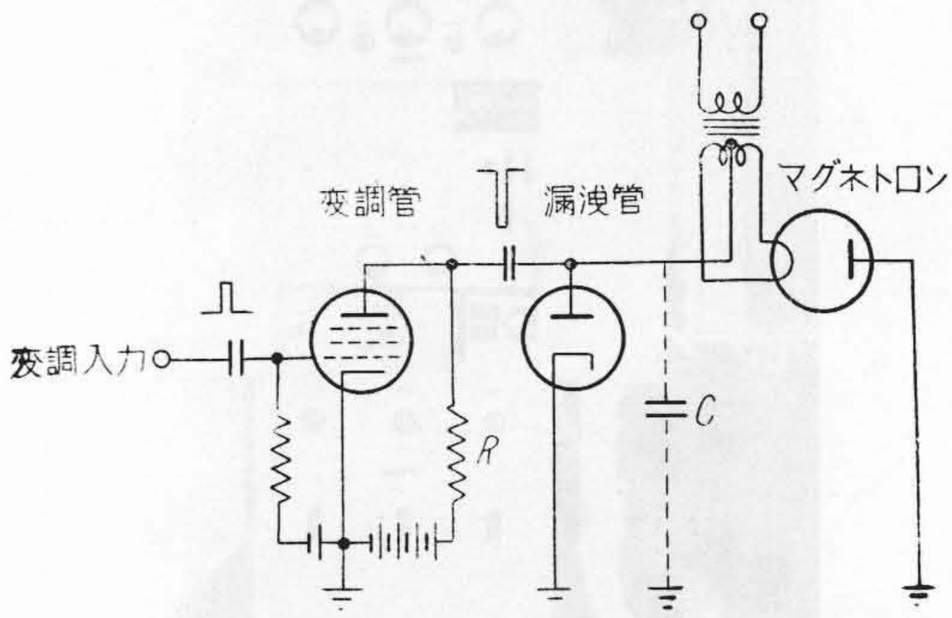
（C） 発 振 器

発振器はマグネトロンの自励発振器である。**第9図**にその構造の概略を示した。この図の M はマグネトロンに所要の磁界（1,300 ガウス）を与えるための電磁石である。この電磁石はその巻線にガラス繊維絶縁線を用いて温度上昇の許容値を高くしてあるため形状が比較的小さい。しかしその反面、温度上昇による巻線の抵抗値の増加が著しく、励磁電流を一定に保つために安定抵抗管3箇を要している。

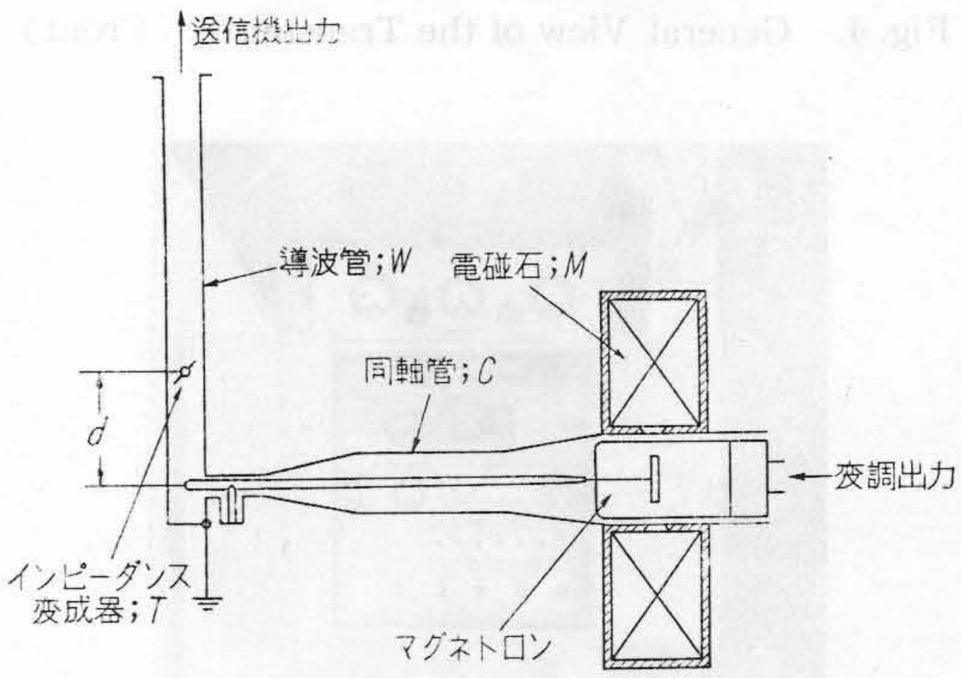
マグネトロン M-750 はその出力導線が球内の共振器と密に結合しているので、この出力導線から負荷側を見たインピーダンスを変化せしめれば、発振周波数をかなりの範囲変える事が出来る。この発振器ではこれを利用して周波数を調整し、且つその自動制御を行つている。**第9図**に示したようにマグネトロンの出力導線は同軸管 C に接続してあり、更にこの同軸管は十分整合をとつて 4,000 MC 帯用標準導波管 W に結合してある。この結合には分岐同軸管付プローブ励振型の結合装置を用いたが、これによる反射は 3,900～4,200 MC の範囲内で定在波比 1.2 以内である。マグネトロンから見たインピーダンスを変化せしめるには導波管側にインピーダンス変成器 T を挿入した。このインピーダンス変成器としては**第10図**の如きものを使用した。即ちこれは導波管内に金属薄板 P を反射板として挿入したもので、この板と管軸とのなす角 θ が軸 A を廻転せしめることにより変える事が出来、且つ軸 A の管軸方向に関する位置 d（**第**



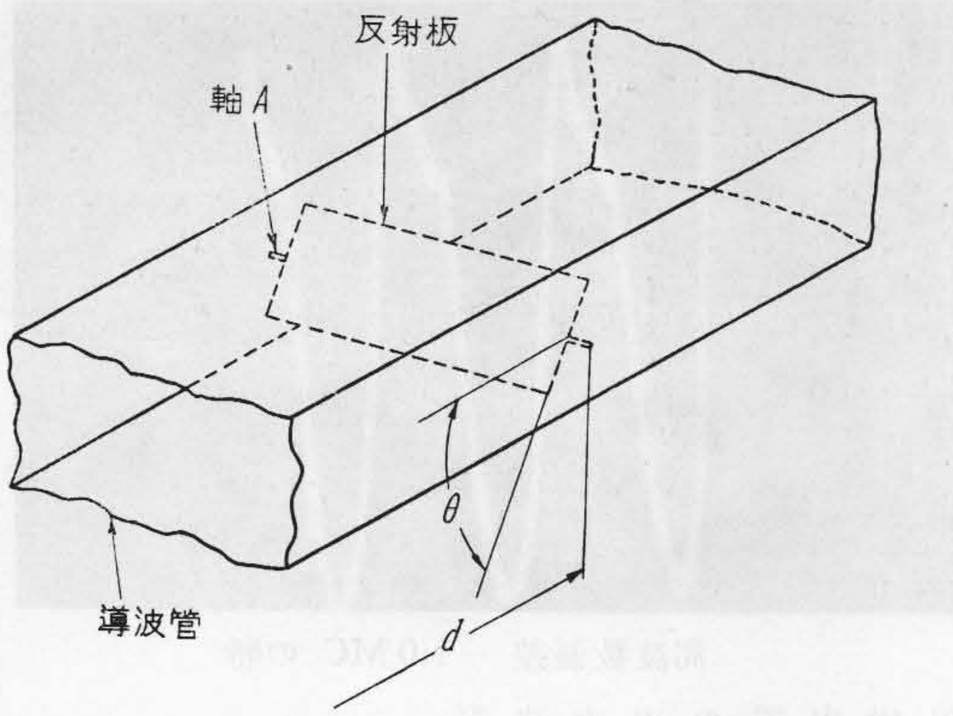
第7図　パルス増幅器出力波形
Fig. 7.　Wave Form of the Pulse-Amplifier Output



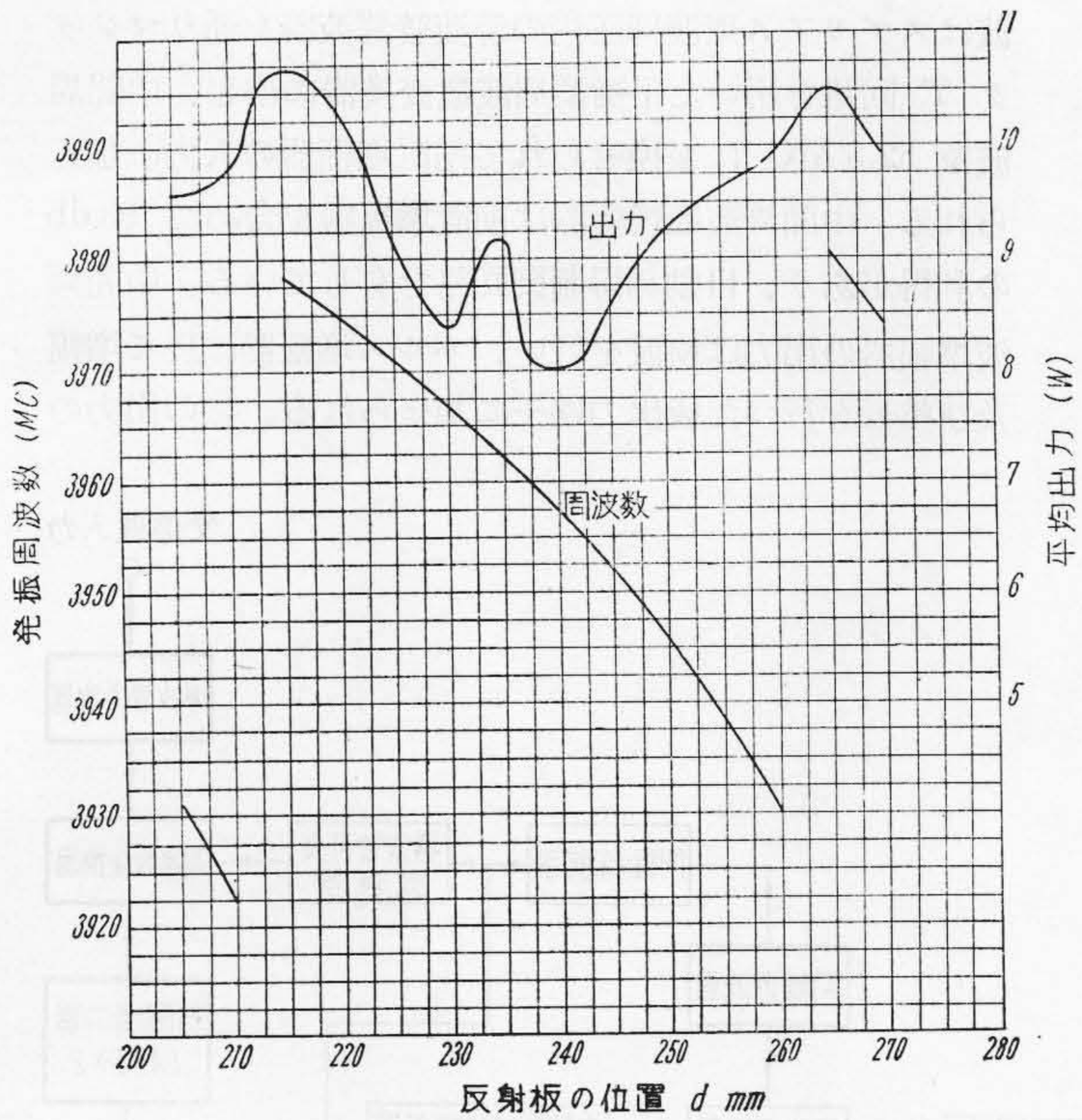
第8図　変 調 器 回 路
Fig. 8.　The Modulator Circuit



第9図　発 振 器 の 構 造
Fig. 9.　Construction of the Oscillator



第10図 インピーダンス変成器の構造
Fig. 10. Construction of the Impedance Transformer



第11図 反射板の位置による発振周波数及び出力変化
Fig. 11. Variation of the Oscillation Frequency and Power Output by the Reflector-Plate Position

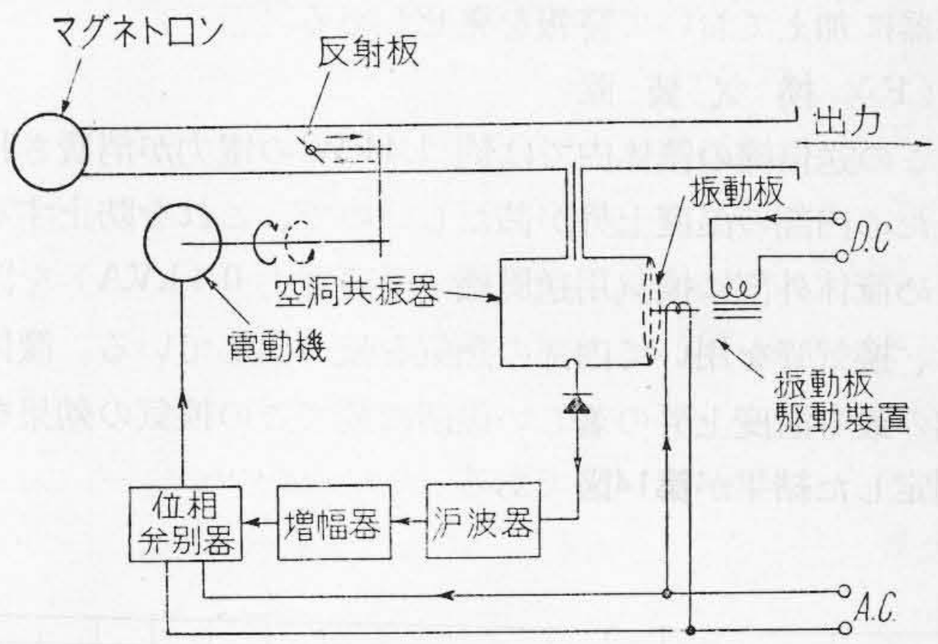
9図参照）も変化せしめ得るようにしてある。θ 及び d の変化によつて、マグネトロン出力導線の位置に於ける反射の大きさ及び位相が変化し、従つてこゝから負荷側を見たインピーダンスが変化する。**第11図**に θ を 60° に保つたまゝ d を変化せしめた時の周波数及び出力の変化の一例を示した。この図に明らかな如く d を変化せしめれば周波数はほゞ直線的に変化し、出力は常に規格値以上となつている。

軸 A は自動周波数制御を行うため、電動機でその位置を変化せしめるようにしてある。

インピーダンス変成器以後の導波管は出力導波管で送信機筐体上面にその末端を出してある。

（D） 自動周波数制御装置

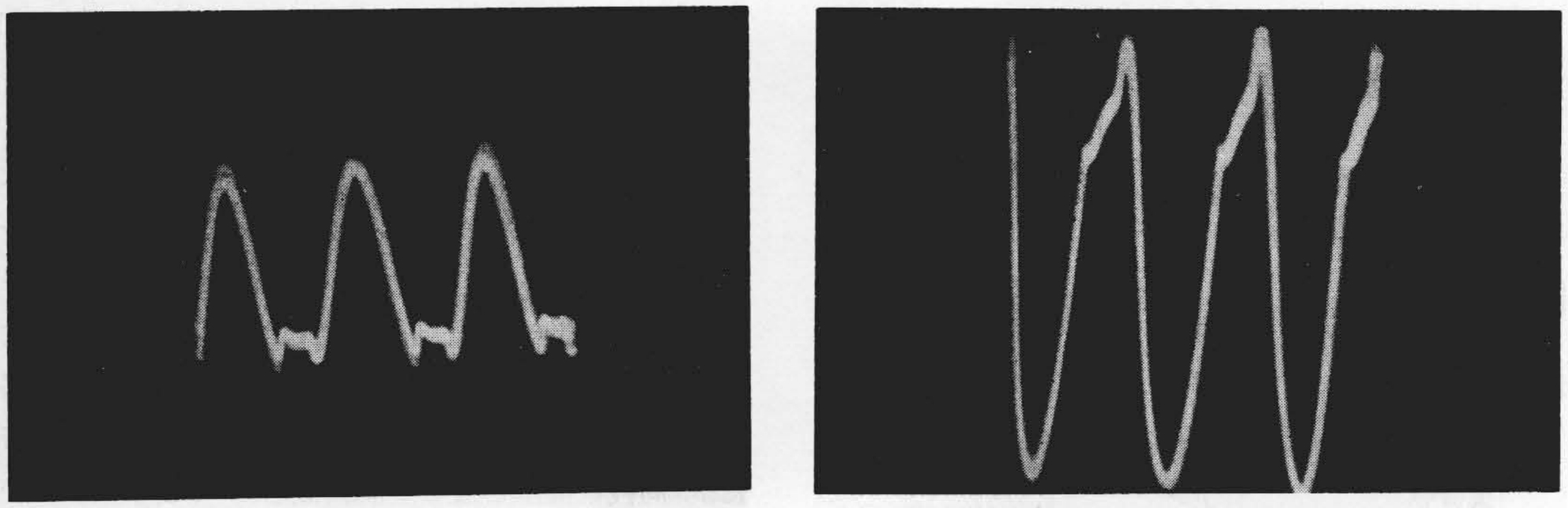
極超短波自励発振器の発振周波数を安定せしめるには種々の方法があるが、こゝでは空洞共振器を設けてその共振周波数を周波数の標準とし、所謂センシング法[4]によつて発振周波数をこの標準と比較して、その偏差に従つて発振器の周波数調整要素即ち前述の反射板の位置を自動的に制御せしめた。この装置の概略を**第12図**に示した。周波数標準となる空洞共振器は TE_{111} モード円壔型のもので、その端面の一方がヂュラルミン薄板製の振動板としてあり、普通のダイナミックスピーカーと全く同様な駆動装置によつてこれを振動せしめ、共振周波数を、規定値を中心として正弦波的に変化せしめるようにしてある。このような共振器に発振出力の一部を加えその出力を検波し、検波出力から低域濾波器によつて上の振動周波数の成分のみを取出せば、この出力は周波数偏差の正負によつて位相が相反する。これを増幅した後の波形の一例を**第13図**(次頁参照)に示した。位相弁別器はこの増幅器出力の位相の正、負即ち周波数偏差の正、負を判別し、これに応じて発振器反射板の位置を動かす電動機を正又は逆回転せしめる。実際に測定したこの制御装置の性能は**第1表**に示す通りである。



第12図 自動周波数制御装置の系統図
Fig. 12. Schematic Diagram of the Automatic Frequency Control (A.F.C.) Deviec

第 1 表 送信機自動周波数制御装置の性能
Table 1. Performance of the A.F.C. of the Transmittter

項目 ＼ 偏差の正負	＋	－
動作開始の最小偏差	170 kc	170 kc
動作完了時の残留偏差	100 kc	100 kc
応動可能な最大偏差	10 MC 以上 ＋10 MC	10 MC 以上 －10 MC
制御完了迄の所要時間	より 81 sec	より 64 sec



周波数偏差 +0.5 MC の時　　周波数偏差 −1.0 MC の時

第13図 自動周波数制御用増巾器の出力波形

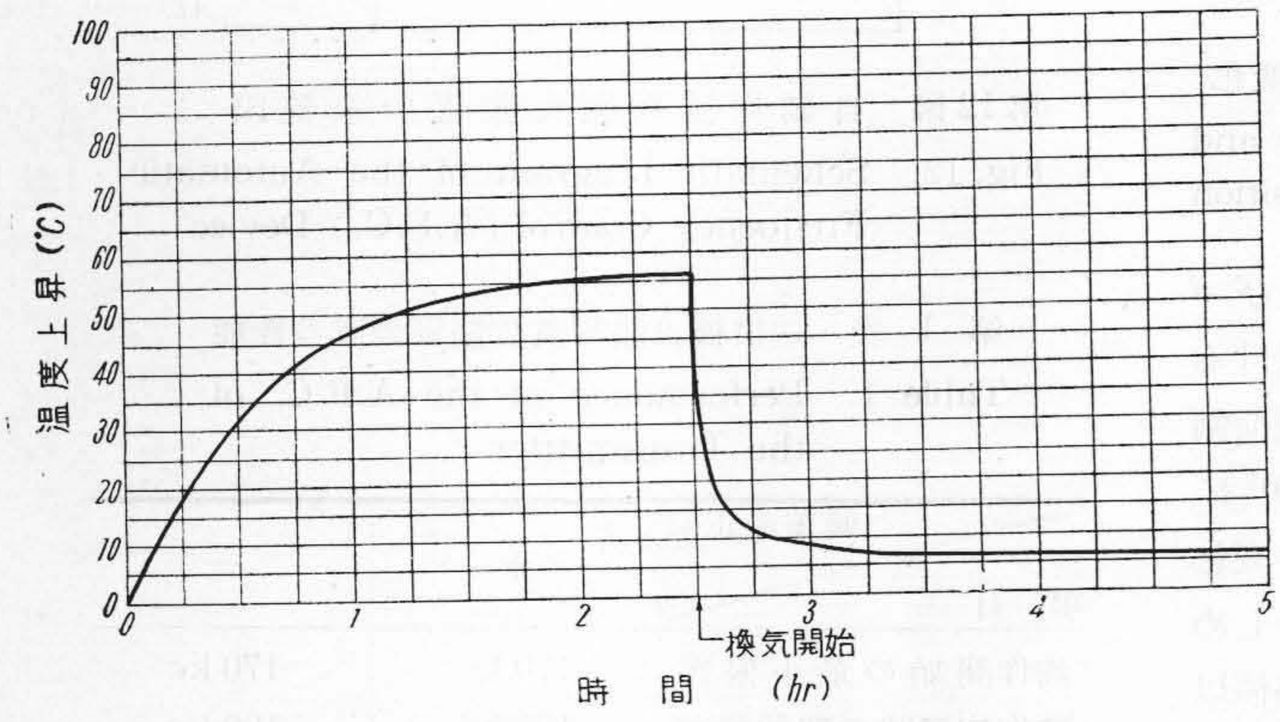
Fig. 13. Wave Form of the A.F.C. Amplifier Output

（E） 警 報 装 置

この送信機は、これが取扱うパルスの繰り返し周波数が約 192 kc であることを利用して、次の二つの場合にブザーと警報灯とによつて警報を発する。その一つは端局からのパルス入力が途絶した時で、これに対しては入力の一部を 192 kc の増幅器で増幅しておき、その出力が消滅した時継電器を仂作せしめて警報を発する。もう一つは、パルス入力はあるのに送信機自体の故障のため極超短波出力が消滅した場合で、これに就いては出力の一部を鉱石検波器で検波して得たパルスを上と同様な増幅器に加えておいて警報を発せしめる。

（F） 換 気 装 置

この送信機の筐体内では約 1.4 kW の電力が消費されるため内部の温度上昇が甚だしいので、これを防止するため筐体外部に換気用送風機（所要電力 0.4 kVA）を置き、換気管を用いて内部の熱気を吸い出している。筐体内の最も温度上昇の著しい箇所に於てこの換気の効果を測定した結果が**第14図**である。

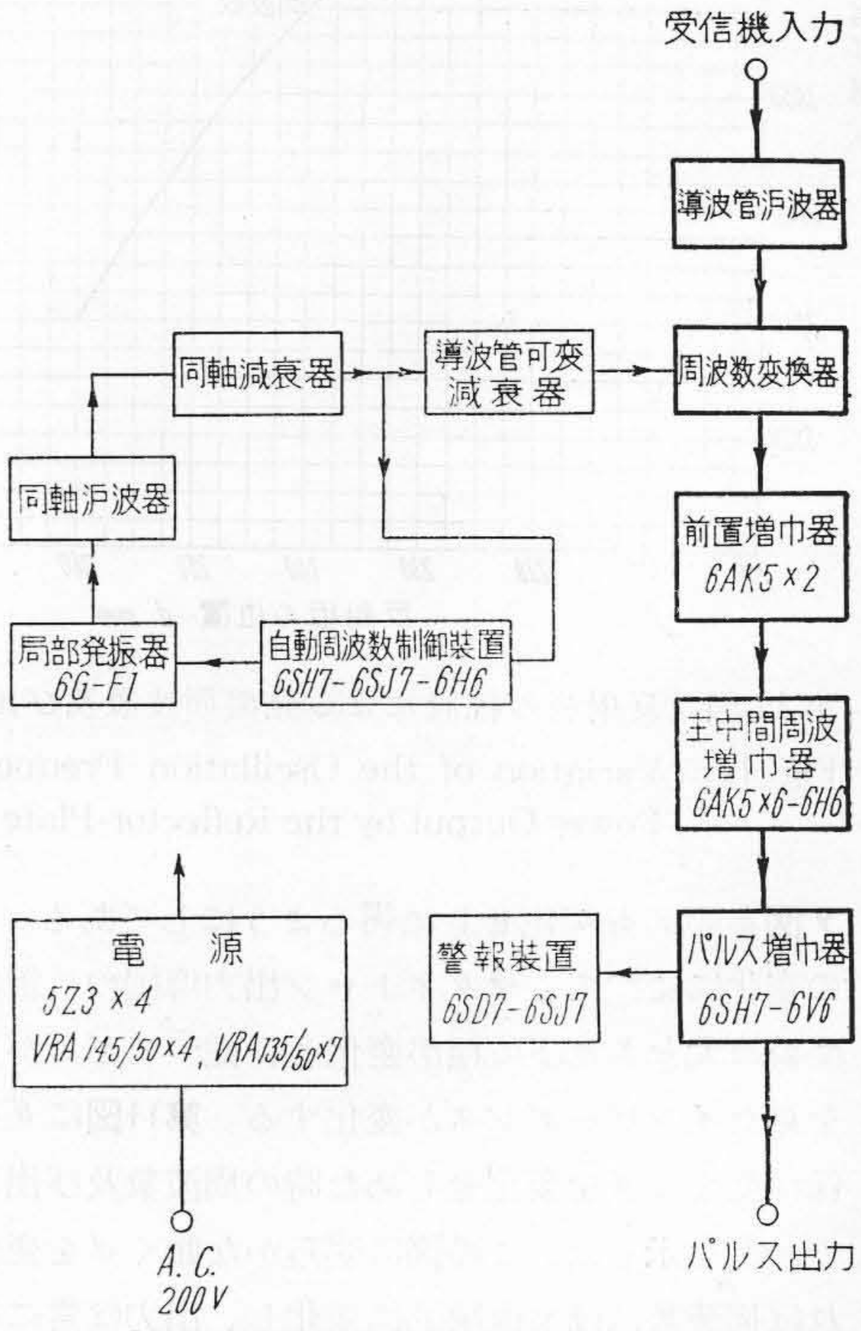


第14図 換気による温度上昇の減少

Fig. 14. Reduction of Temperature Rise by Ventilation

（2） 受 信 機

第15図に受信機の系統図を示した。空中線よりの受信波はスプリアス周波抑圧用の導波管濾波器を通りマジック T 回路を用いた平衡型周波数変換器に達し、中間周波数 52.5 MC に変換せられて前置増幅器の入力に加えられる。中間周波数増幅器は前置増幅器を含めて 93 db の利得があり、自動利得制御回路を有している。中間周波増幅器の出力は検波を行い、パルス増幅器に於て増幅及び整形を行つた後出力端子に加えられる。この出力の



第15図 受信機の系統図

Fig. 15. Schematic Diagram of the Receiver

一部は警報装置を動作せしめるのに利用される。局部発振器は反射型クライストロン 6G-F1 を用いており、その出力には第2高調波を抑圧するための同軸濾波器が付してあり、減衰器を経て周波数変換器に接続している。局部発振器の出力の一部はセンシング法による自動周波数制御に使用している。この他、各増幅器と局部発振器用の電源がある。次に受信機の各部分の構造及び機能に就いて説明する。

（A） 極超短波回路

入力の導波管濾波器は1/4波長結合型のもの3段で通過帯域幅 12 MC, 挿入損失 0.5 db のものを使用した。周波数変換器は前述の通りマジックTを使用した平衡型変換器である。混合器はクロスバー型を使用したが、その周波数特性は**第16図**の如く比較的広帯域である。鉱石検波器は 1N23B を用いている。 局部発振器は前述の通り反射型クライストロン6G-F1を使用している。この出力は約 30 mW で、その一部を周波数変換器と自動周波数制御とに用いている。周波数変換器へ入る電力は導波管減衰器によつて調整する事が出来る。又、局部発振器の周波数の漂動時間は約 1 hr である。尚、スプリアス感度は**第2表**の通りである。

（B） 中間周波増幅器

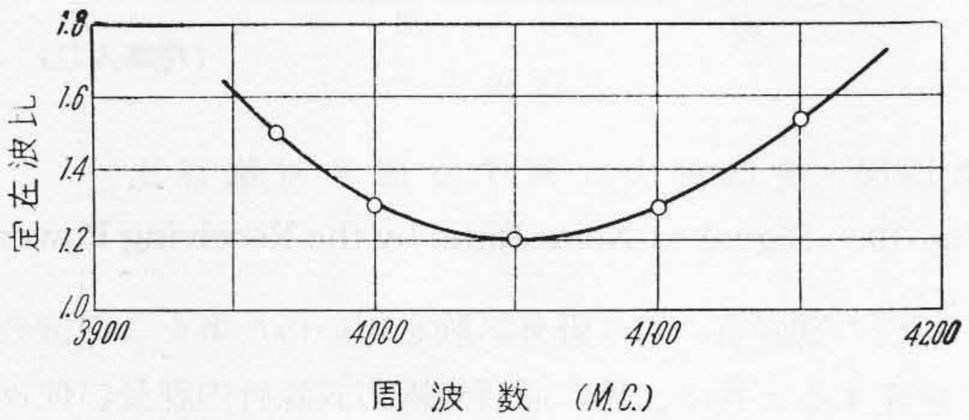
前置増幅器（6AK5.2 段ウォールマン回路）と主増幅器（6AK5.6 段、検波 6H6 スタガー回路）とより成り中心周波数 52.5 MC, 綜合利得 93 db である。**第17図**に主中間周波増幅器の周波数特性が示してある。主増幅器では検波出力の一部を利用して自動利得制御を行つており、入力の +10～−20 db の変動に対して出力の変動を 3 db 以内に抑えている。

（C） 綜合雑音指数

受信機入力より中間周波増幅器出力迄の間の綜合雑音指数を、螢光灯を雑音源として測定した結果は**第18図**の如くである。図の横軸は鉱石検波器の検波直流電流である。この値は 0.7～0.8 mA が最適で、綜合雑音指数は 13.1 db となつており規格内に入つている。

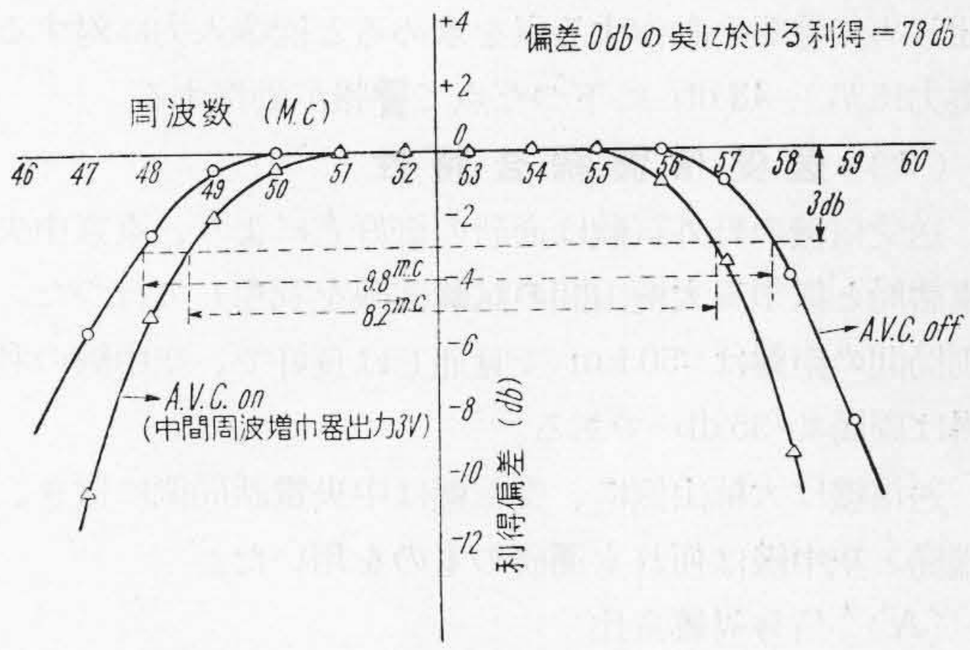
（D） パルス増幅器

パルス増幅器は 6SH7GT, 6V6GT を用いており、その周波数特性は約 400∽ より 1MC 迄平坦で、270∽ 及び 2MC で 1 db 低下する。又、検波管と 6SH7GT に於てパルスの整形を行い、出力波形を矩形波に近くしている。



第16図 混 合 器 の 周 波 数 特 性

Fig. 16. Frequency Characteristic of the Mixer



第17図 主中間周波増幅器の周波数特性

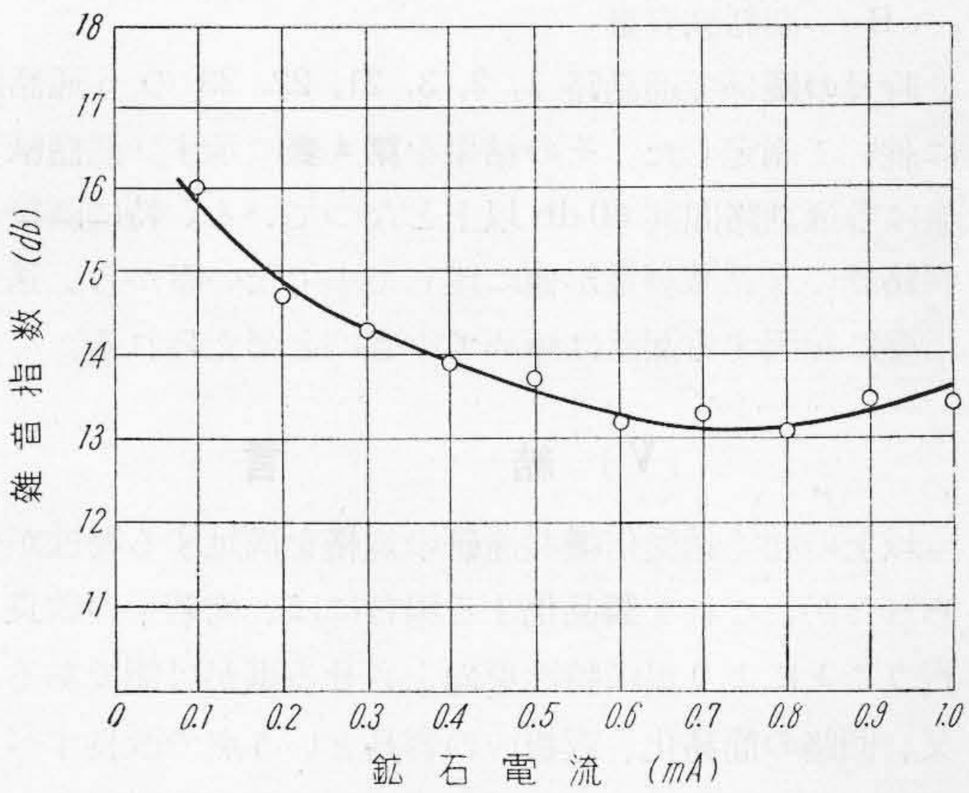
Fig. 17. Frequency Characteristics of the Main I.F. Amplifier

第2表 スプリアス感度

Table 2. Supurious Response

スプリアス周波数 (MC)	相対感度 (db)
$f_1-1/2f_2=4{,}007.3$	−62
$f_1+1/3f_2=4{,}052$	—
$f_1+1/2f_2=4{,}057.8$	—
映像周波数 4,085	−47

但し $f_0=3{,}980.0$ MC 受信周波数
$f_1=4{,}032.5$ MC 局部発振周波数
$f_2=$ 52.5 MC 中間周波中心周波数



第18図 綜 合 雑 音 指 数

Fig. 18. Overall Noice Figure

第 3 表　受信機周波数制御装置の性能
Table 3. Performance of the A.F.C. of the Receiver

項目 ＼ 偏差の正負	＋	－
応動可能な最大偏差	7 MC	7 MC
残留偏差	400 kc 以内	400 kc 以内

（E） 自動周波数制御装置

局部発振器の出力の一部を用いて送信機と同じセンシング法により周波数偏差を検出し、増幅、位相弁別の後その検波出力をクライストロンのリペラー電圧に重畳して周波数制御を行つている。装置の特性は**第 3 表**の通りで規格内に收つている。

（F） 警 報 装 置

パルス増幅器の出力の一部を警報に用いており、何等かの原因で受信機の出力が消滅するか、又はパルスの大半が消滅した時、ブザーを鳴らすようになつている。回路の構成は送信機とほゞ同様である。受信機入力を変化せしめて警報の動作する点を求めると標準入力に対する電力比が −43 db に下つた点で警報が動作する。

（3） 送 受 信 機 綜 合 特 性

送受信機の野外試験は通研の御好意により、東京中央電話局と横須賀大楠山間の試験回線を利用して行つた。両局間の距離は 50 km で見通しは良好で、空中線の利得は両局共 35 db である。

送信機は大楠山側に、受信機は中央電話局側に置き、端局と空中線は何れも通研のものを用いた。

（A） 信号対雑音比

受信機の入力回路に導波管可変減衰器を挿入し、端局をも含めた綜合信号対雑音比を求めたものが**第19図**である。標準入力に於ける信号対雑音比は 61.8 db で、最大のフェーディング −20 db に於ける値は 56.4 db である。

（B） 漏話減衰量

時日の関係で通話路 1, 2, 3, 21, 22, 23 の 6 通話路に就いて測定した。その結果を**第 4 表**に示す。漏話減衰量は各通話路間共 60 db 以上となつている。特に隣接通話路間の漏話減衰量が他に比して小でない事から、送受信機に起因する漏話は極めて小さいと考えられる。

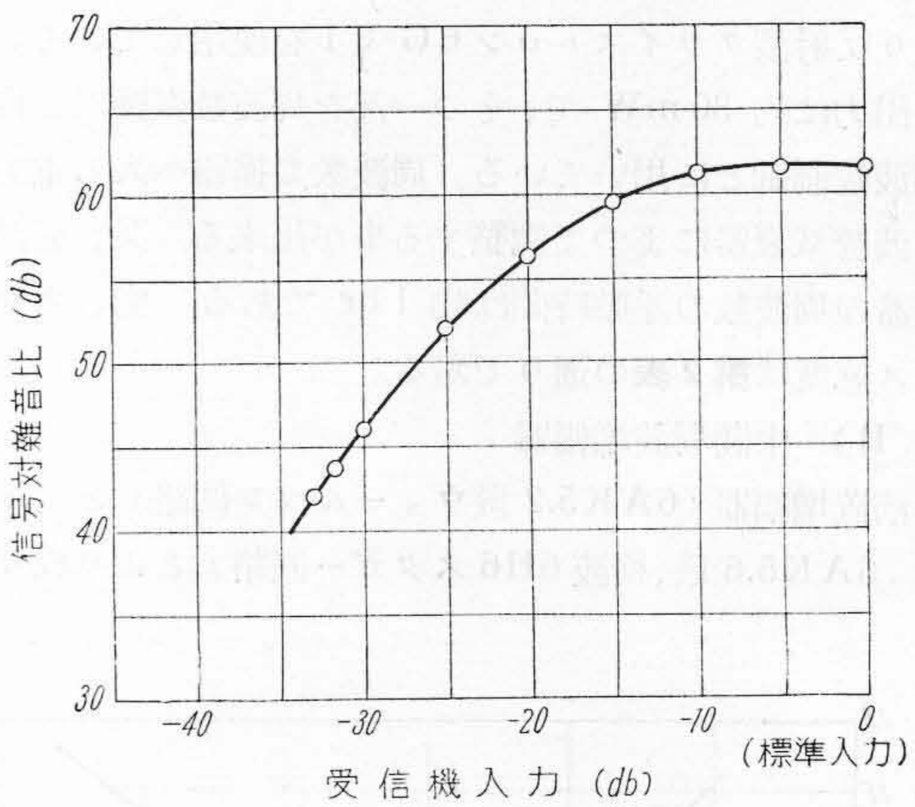
〔V〕 結　　言

以上の如く送受信機共通研の規格を満足する特性が得られたが、これを製品化する場合には、尚若干の改良を行うことにより更に特性を向上させる事が可能である。又、回路の簡易化、取扱いの容易という点で改良すべき所があり（一例として、受信機の周波数変換器は単一型にした方が遙かに小型になり、調整も容易である。）これらの点に就いては現在研究中である。

第 4 表　漏 話 減 衰 量
Table 4. Cross Talk Attenuation

通話路 送＼受	1	2	3	21	22	23
1		63	65	68N	64	64
2	62		64	66N	62	63
3	63	64		67N	63	63
21	61	63	64		62	63
22	61	60	63N	65N		62
23	62	63	65	66N	63	

N……雑音に遮蔽されてゐる事を示す



第19図　受信電力に対する信号対雑音比
Fig. 19. Signal to Noise Ratio by the Receiving Power

通研の御好意により野外試験を行い得た事をこの機会に感謝すると共に、特に通研無線方式課竹内課長、佐々木主査等の方々に御礼申し上げる。尚、日立製作所本社田口部長その他の方々、戸塚工場東、三木氏等の方々、茂原工場各位、中央研究所菊田所長、豊田前副所長、鳥山前所長に御鞭撻を戴いた事を感謝する次第である。又、試作に際して、直接間接に御世話になつた中央研究所、中村、鳴原、三橋、二木氏又戸塚工場及び中央研究所の工作関係の方々に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

（1） 高田： 特許番号 163256（昭 19-3-24）
（2） 高田： 特許番号 163258（昭 19-3-24）
（3） 高田： 特許番号 182149（昭 25-3-7）
（4） Eugene： I.R.E. **37** 943 (1949-8)
（5） 日本電信電話公社電気通信研究所： 4,000 MC P.T.M. 23 通話路多重電話方式実用化資料（4）（日立製送受信機試験成績）（昭 27-10）