

阪 神 電 鉄 株 式 会 社 納
12Gc 帯 多 重 電 話 送 受 信 装 置
 Multi-Channel Carrier Telephone Terminal Equipment
 for 12Gc Microwave Radio System

杉 根 千 代 二* 村 田 精 二* 岡 崎 彰 夫**
 Chiyoji Sugine Seiji Murata Akio Okazaki
 松 井 伸 崇** 齋 藤 篤 雄**
 Nobutaka Matsui Atsuo Saito

内 容 梗 概

最近、12.2Gc から 12.45Gc までのマイクロ波帯が多重電話用として割当てられ、比較的短距離で多重度の高い回線に広く利用されるすう勢となってきた。日立製作所ではこの情勢にさきがけて 12Gc 帯におけるトランジスタ化送受信機 UXFT-011 形装置を完成しこのほど阪神電鉄株式会社に納入した。

この装置は日立クライストロン 12V10 以外は一切真空管を使用せず、すべて日立トランジスタによって回路を構成した 60 通話路容量の検波中継形送受信機である。

本文では回線の概要、12Gc 帯における回線設計、UXFT-011 形送受信機の構成、仕様、各部回路の動作、および試験結果について述べる。

1. 緒 言

最近トランジスタの高周波における性能が急速に進歩し、従来真空管で構成されていた高周波電気回路をトランジスタにて実現することが可能となり、消費電力の節減、装置の小形化などの特長から無線機のトランジスタ化が各方面にて行われるようになった。

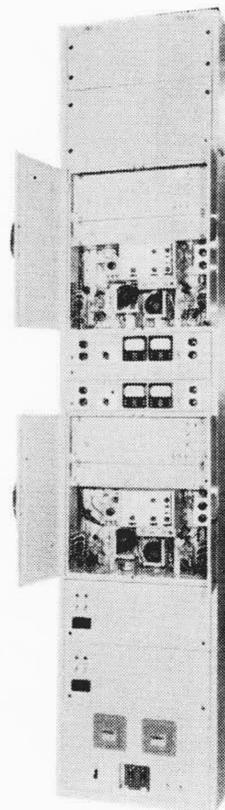
一方 12Gc 帯のマイクロ波が多重電話中継用に割当てられ、比較的短距離で多重度の高い電話回線用として、今後の需要が増加する傾向にある。このような情勢の下にあって、日立製作所ではクライストロン以外の真空管をすべてトランジスタ化した 60 通話路容量の多重電話用送受信機 UXFT-011 形装置を完成した。本装置は MT-60 形端局装置および AX-3 形クロスバ交換機とともに昭和 36 年 7 月阪神電鉄株式会社に納入され、同社の重要な回線網を構成し稼動されている。

UXFT-011 形送受信機は第 1 図のように現用機、予備機、切換機とも標準形ラック 1 架に実装され、各部ユニットはすべて前面からプラグイン操作で着脱できるので、架の背中合せ設置が可能となり、局舎の床面積が節約される。本装置の特長を列挙すると、

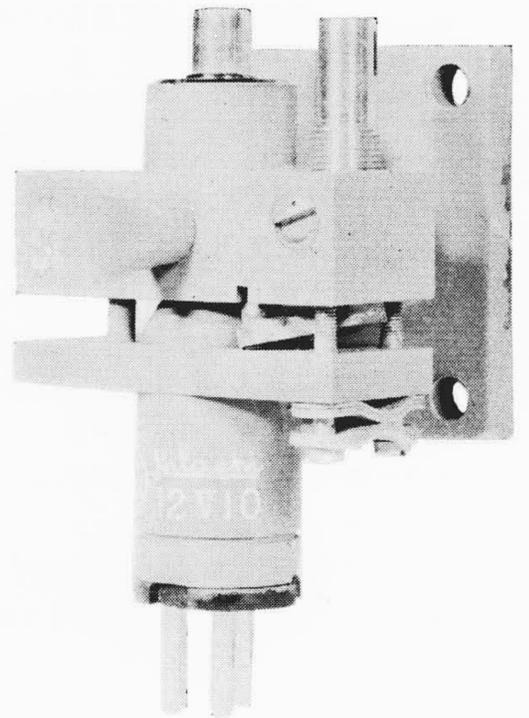
- (1) クライストロン 12V10 (第 2 図) は日立製作所が特に 12Gc 帯多重電話用として開発したもので、変調の直線性、変調感度の均一性、温度特性など変調管ならびに発振管としての両者の特性が優秀であり、さらに周波数調整用の機械的機構に工夫してあるため、保守の面で特に取扱が容易である。
- (2) 真空管装置に比べトランジスタ装置が性能的に劣ると考えられる点は、温度特性と雑音指数の 2 点のみであるが、本装置に使用したトランジスタはすべて日立製作所の製品であり、その数多い実績と回路的工夫により温度特性に関しては最も合理的に設計し、また中間周波雑音指数については HS-506 の採用により真空管に比べ遜色のない性能を発揮している。
- (3) 日立製作所はマイクロ波、ミリ波の立体回路測定器に多くの実績をもち、本装置の 12Gc 立体回路各部にも、この経験を生かし、パワー測定、波長測定、変調特性の測定などはきわめて容易に行うことができる。

その他トランジスタ装置の一般的特長として、電力消費量の低減、小形化、安定性、保守の容易さなどの利点は随所にみられる。

* 阪神電鉄株式会社電気部
 ** 日立製作所戸塚工場



第 1 図 UXFT-011 形送受信機外観図



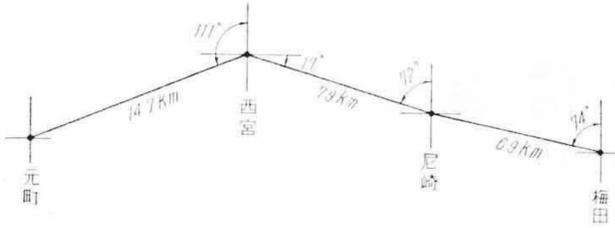
第 2 図 日立クライストロン 12V10

さらに、大きな特長としては電力消費の低減に伴い、予備電源装置が極度に簡易化されることである。

UXFT-011 形装置の概要仕様

周 波 数	12,200 Mc~12,450 Mc
送受周波数間隔	120 Mc
所 要 電 源	24V ± 10% 約 7 A
温 度	0~40°C
湿 度	30~90%
装 置 出 力	約 100mW
周波数安定度	± 5 × 10 ⁻⁴ 以下
標準周波数偏移	± 200 kc (実効値)
雑 音 指 数	15 dB 以下
入 力 レ ベ ル	-25 dBm/CH 75Ω
出 力 レ ベ ル	-15 dBm/CH 75Ω

本装置は 60 通話路容量にて設計を行ったが、ビデオ増幅器のシートのみ交換することにより 120 通話路の伝送もほぼ同規格で行うこ



第 3 図 回線ルート図

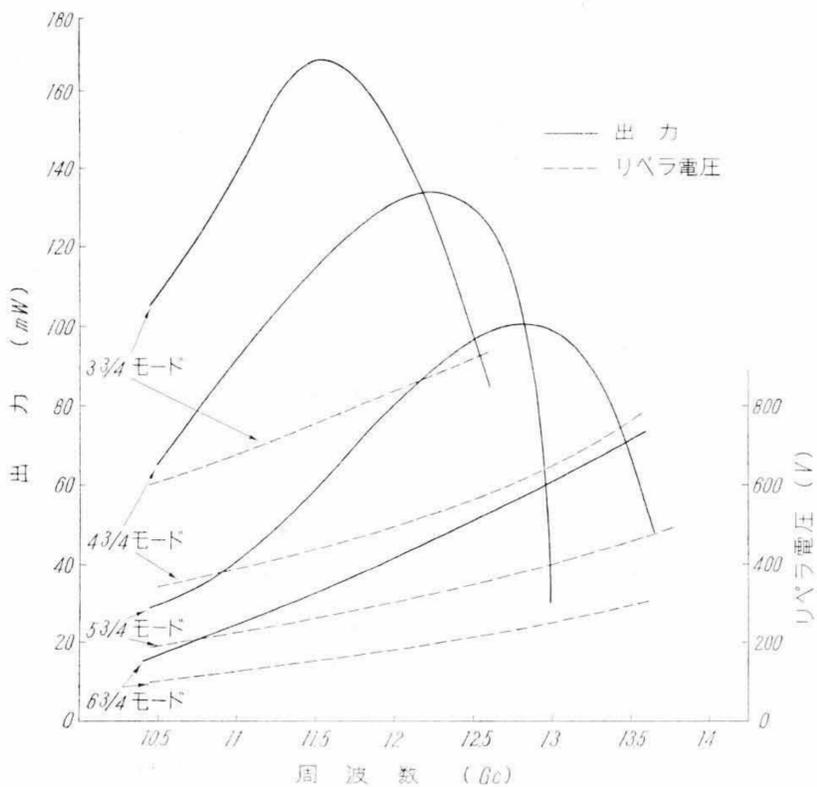
とができる。

2. 回線および装置の概要

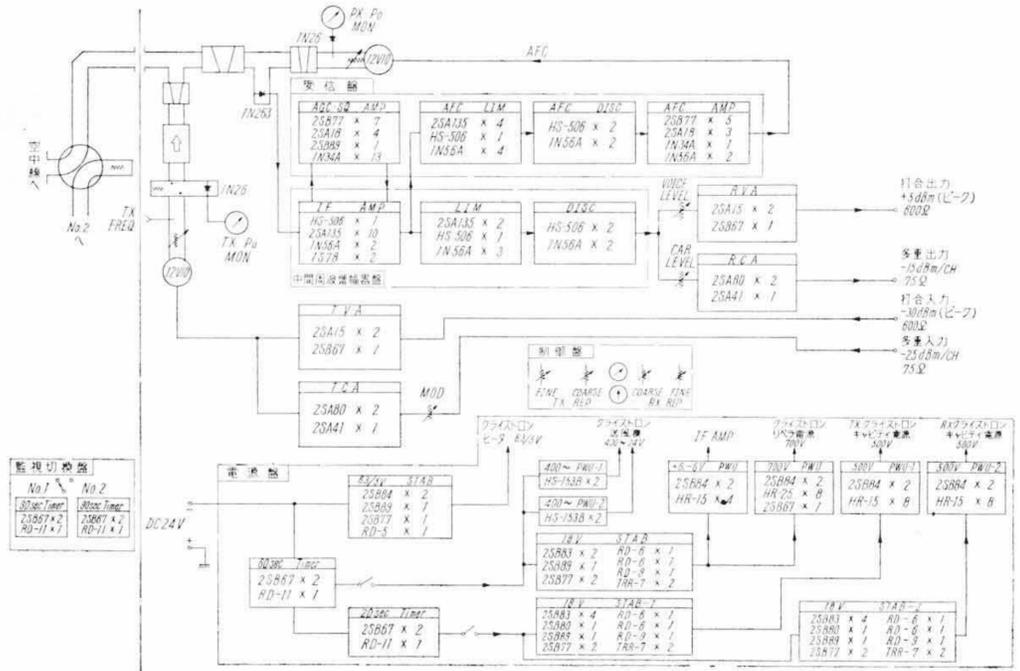
阪神電鉄株式会社マイクロ回線ルートは第 3 図に示すとおりであり、回線設計における問題点は降雨による 12Gc マイクロ波の減衰量の算定と所要ドロップ・アウト・マージンの決定とであった。降雨による減衰量を算出するためには、降雨特性の詳細なデータが必要であるが、現在この目的のため使用する資料はきわめて不備であるため、過去 20 年間に於ける神戸地区の 10 分間降雨量の記録から、その最大値を求め、さらに雨域の大きさを仮定して Ryde の式から減衰量を計算した。すなわち、記録上の最大降雨強度は 20mm/10 分間で 20 年間に 2 回発生している。西宮-元町間は距離約 15 km で、雨域分布としては 5 km だけ 20 m/m、残りの 10 km は 10 m/m の降雨強度として計算すると減衰量約 40 dB となるので、回線設計を下記のとおり行った。

送信管出力	20 dBm (0.1W)
空中線利得	49 dB × 2
回路損失	4 dB
給電線損失	10 dB (50m, 0.2 dB/m)
自由空間損失	137 dB (14.7 km)
受信機入力	-33 dBm
受信機限界入力	-78 dBm
ドロップ・アウト・マージン	45 dB

次に常時のフェージングを 0.8 dB/km として、通しの信号対熱雑音比は 70 dB となる。さらにトランジスタ装置であることを考慮し、復調ビデオ増幅器の入力雑音として 1 回復調当り 70 dB を割当て、下記のような雑音配分を行った。(数値はすべて無評価値)



第 5 図 日立 12V10 クライストロンの周波数と出力およびリペラ電圧の関係の一例



第 4 図 UXFT-011 形送受信機系統図

端局	1,720 PW				
総合 9,320 PW	無線 7,600 PW	熱雑音	400 PW		
		準漏話	非直線ひずみ	3,600 PW	1 変調器 600 PW
			遅延ひずみ	900 PW	1 復調器 600 PW
			反射ひずみ	1,200 PW	1 中継機 300 PW
干渉音	1,500 PW	1 中継 500 PW			

本装置の回路構成は第 4 図のブロック図に示すように、電源盤送受信盤、中間周波増幅器盤、受信盤、制御盤、切換盤および切換機よりなり、各盤はさらにいくつかのユニットに分割されている。各盤の機能は、従来の真空管装置とほぼ同様であるが、各部レベルの選び方などはトランジスタ装置として合理的な配分を考慮した。

3. 各部回路の詳細

3.1 立体回路部

送受共用回路は送信 3 段、受信 5 段の帯域濾波器より構成され、送信出力の受信側への漏れは -60 dB 以下、映像周波数感度は -50 dB 以下に押えている。この装置ではクライストロンの調整の容易さを考え、送受共用回路の前に出力監視回路および周波数測定回路を設けクライストロン周波数が送信周波数とはなはだしく異なっている場合でも周波数調整ができるよう配慮されている。

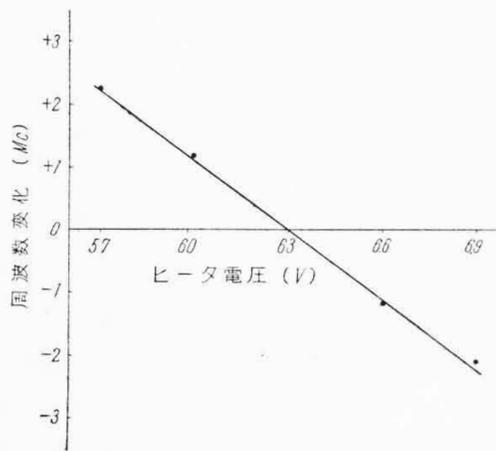
現用機と予備機の切換えに使う導波管切換機は直流電動機によって駆動され約 150 mS で切換動作し、相互漏れは -70 dB 以下である。したがって予備機の試験運転による実回線への影響はほとんど見られない。予備機側は 16.99 dB の抵抗減衰器により終端され、この減衰器の後にサーミスターマウントをつければ電力測定を同軸変換器をつけば受信機試験を行うことができる。

3.2 送受信部

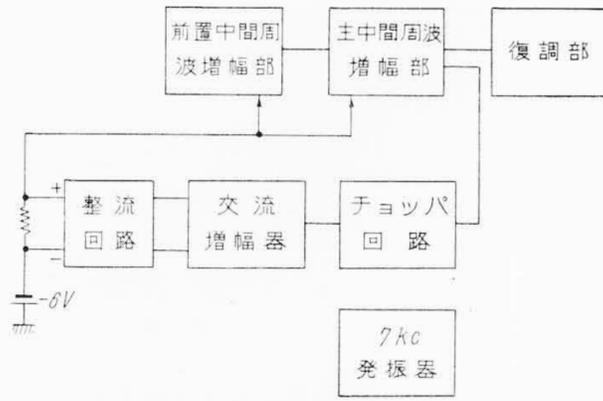
3.2.1 クライストロン

12 V 10 の出力は整合負荷で使用した場合の一例として第 5 図のような特性が得られる。本装置では 4 3/4 モードを使用するのでペラ電圧は 300 V 前後、出力は 100~120 mW である。次にリペラ変調感度、電子同調範囲については前者は標準 0.7 Mc/V、後者は約 30 Mc である。

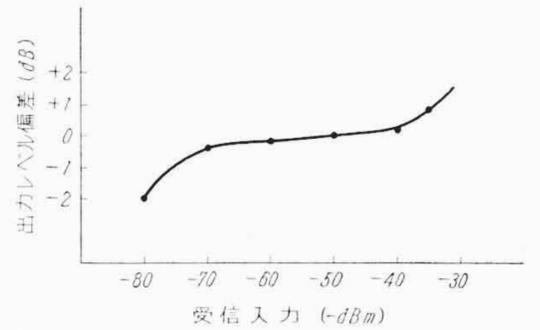
各電極電圧の変動に対する周波数変化は電源の性能を決定する



第6図 12V10の発振周波数とヒータ電圧の関係



第7図 AGC 系統図



第8図 AGC 特性

のに必要である。第6図はヒータ電圧の変化に対する発振周波数の変化を示す。キャビティ電圧の変化に対しては使用モードによって周波数変化量が多少変り $4\frac{3}{4}$ モードに対しては -0.5 Mc/V の程度である。また周波数初期源動は自動切換時特に重要な特性で、キャビティ電圧印加後2分で最終値より $+2 \text{ Mc}$ 以内に入る。

本装置ではこのような性能のクライストロン 12 V 10 をカソード接地で使用し、送信、局発管とも強制空冷を行っている。この送風機には整流子を有する直流電動機を避け、トランジスタの DC-AC コンバータにより、400 \sim を発生し、これによって400 \sim 電動機を回転させている。

3.2.2 変調増幅器

変調増幅器は受信増幅器と同様に多重搬送端局に使用している標準形プリント基板ユニットを使用している。変調増幅器は第4図系統図に示すように打合回線用音声周波増幅器と多重回線用搬送波増幅器より成り、それぞれの入力を1通話路当り 200 kc の周波数偏移に必要な電圧まで増幅し、増幅器出力の変成器にて両出力を合成しクライストロンのリペラーに印加している。

3.3 受信部

3.3.1 受信周波数変換器

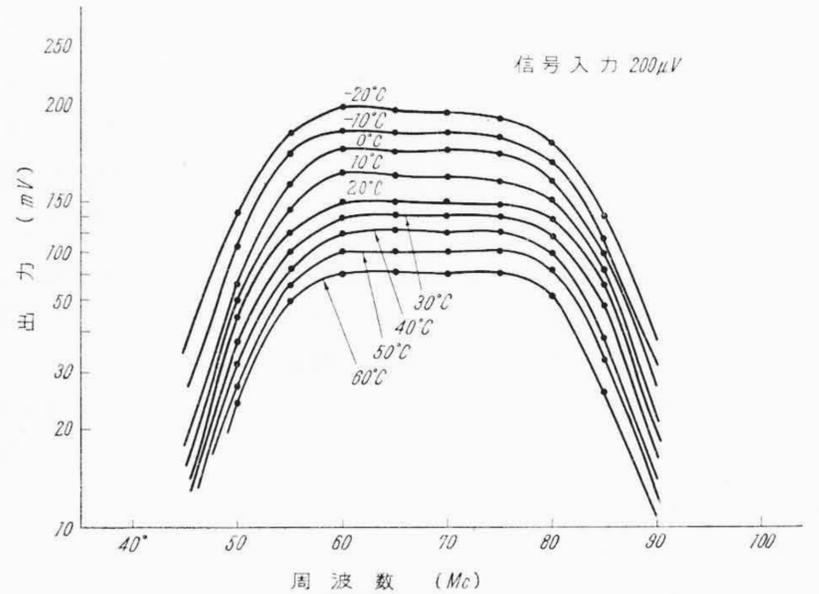
ミキサダイオードとしては 1 N 263 ゲルマニウムダイオードを用いた。そのマウントは中間周波増幅器盤に直接取り付けられ、前置中間周波増幅部の初段とは、ダイオードの中間周波でのインピーダンスを 250Ω として、2重同調形変成器で結合している。ダイオードのバイアス電流は $0.6 \sim 1.5 \text{ mA}$ にわたり可変である。

3.3.2 中間周波増幅器盤

この装置の中間周波増幅器としては、日立製作所のメサ形ゲルマニウムトランジスタ H S 506, 2 S A 135 を用いた。トランジスタの場合、真空管と比較して、温度特性が劣り、内部帰還が大であるので設計には注意を要する。これらの点を考慮して、不整合法により内部帰還の影響を僅少にし、温度変化、経時変化による中間周波増幅器の特性の変化をおさえるために、スレショールドレベルに制約される範囲内で広帯域にしてある。

この装置の中間周波増幅器盤は、前置中間周波増幅部、主中間周波増幅部、復調部が継続されている。

前置中間周波増幅部は、初段に H S 506, 2, 3, 4 段に 2 S A 135 をエミッタ接地で用い、他に AGC 回路1段で構成されている。帯域幅は約 16 Mc, 最大利得は約 30 dB, その入出力インピーダンスは、中心周波数で 50Ω である。AGC 回路(自動利得制御回路)は、さらに主中間周波増幅部に1段そう入されていて、マイクロ入力 -35 dBm から -75 dBm の範囲で、その出力レベル偏差は $\pm 1 \text{ dB}$ である。AGC の系統図を第7図に、AGC 特性を第8図に示してある。主中間周波増幅部の最終段より、ゲルマニウムダイオードで中間周波信号を整流し、トランジスタチョッパを用いた AGC 増幅器で、可変減衰器として用いたダイオードのバ



第9図 中間周波増幅器振幅特性の温度に対する変化

イアス電流を制御している。また前置中間周波増幅器の温度特性を第9図に示した。温度による利得の変化はあっても、振幅周波数特性の変化範囲は問題にならない。

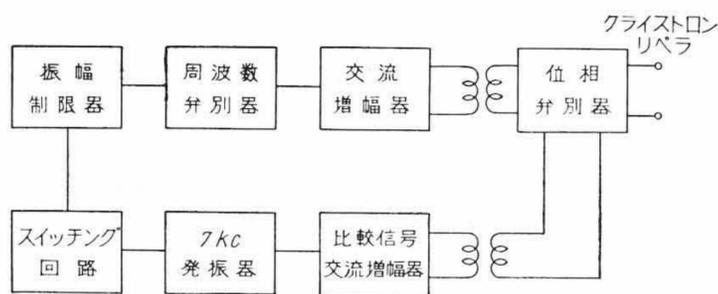
主中間周波増幅部は、トランジスタ 2 S A 135 をエミッタ接地で7段、AGC 回路が1段で構成されている。最大利得は約 50 dB で、その入出力インピーダンスは中心周波数で 50Ω である。段間変成器は、前置中間周波増幅器も同様であるが、2重同調形変成器である。主中間周波増幅部から受信盤の受信 AFC 中間周波部に 50Ω 同軸ケーブルで送り出している。

復調部は、振幅制限器3段(2 S A 135, 2石, H S 506, 1石)、周波数弁別器(H S 506, 2石)よりなり、 600Ω のインピーダンスで分波器につながっている。振幅制限器はダイオードリミタ形で、2周波数弁別器は2重同調形を採用している。周波数弁別器の感度は大体、 0.25 V/Mc である。

3.3.3 受信盤

受信盤には、受信 AFC 用中間周波部、AFC 回路部、AGC 回路部、スケルチ部が配置されている。

受信 AFC (受信自動周波数制御) 用中間周波部は、振幅制限器、周波数弁別器を持っている。振幅制限器の最終段 H S 506 は、第10図に示してあるように、スイッチング回路でエミッタ電源を断続するようになっている。したがって周波数弁別器の出力は、スイッチングと同じ周期で、中間周波信号と周波数弁別器の中心とがずれている場合に方形波出力を AFC 用交流増幅器に送出することになる。交流増幅器は、トランジスタ 2 S B 77, 2段からなり、位相弁別器につながる。周波数弁別器出力を交流化するためのスイッチング回路は、7 kc の発振器(2 S A 18, 2石)より緩衝増幅器 2 S B 77 を経て 2 S A 18 で、7 kc の周期で振幅制限器の終段の H S 506 のエミッタ電源を断続する。一方 7 kc の発信器から、位相弁別を行わせるための比較信号回路(2 S B 77, 2石)が



第10図 受信AFC系統図

つながって、位相弁別器に入る。位相弁別器回路で、適当な極性の直流出力を得て、局発クライストロンのリペラにその出力が重ね合わされる。これにより中間周波数の偏差を ± 200 kc 以内におさえる。

AGC部はAFCと同様7kcの発振器(2SA18, 2石)をもち、トランジスタチョップを駆動する。そのトランジスタチョップ回路⁽¹⁾は2SA18, 2石, 2SB77, 1石よりなり、中間周波増幅器よりの中間周波整流出力を交流化する。続いて2SB77よりなる2段の交流増幅器で増幅し、整流後AGC用可変減衰器としてそう入してあるダイオード(ゴールドボンドダイオード1S78を用いている)の導通度を制御してAGCを行う。したがって、中間周波増幅器よりの中間周波整流出力がない場合、可変減衰用ダイオード1S78のバイアス電圧が順方向に大で、ダイオードの微分抵抗も小さくて、中間周波増幅器の利得が最大となる。この状態がAGC OFFのときである。

スケルチ部は、AGC用の交流増幅器の初段後より分岐して、2SB77で1段増幅後整流し、その出力をシュミット回路に導入し、スケルチ用リレー(リードリレーを用いている)を働かせている。すなわち、マイクロ入力があるときは、スケルチリレーの接点は断、入力がないときはマークとなって、制御盤のスケルチリレー回路につながる。

3.3.4 受信増幅器

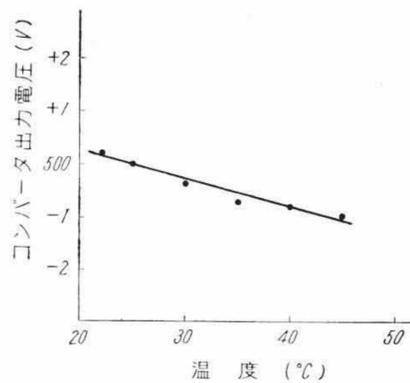
中間周波増幅器盤にて復調された信号出力は、分波器により打合回線音声周波信号と多重回線用搬送周波信号に分けられ、それぞれ音声周波増幅器、搬送周波増幅器により規定レベルまで増幅され端局へ送出される。

3.4 制御切替回路

この装置は1架に現用・予備機を実装した100%予備方式となっている。1号機、2号機のいずれも任意に現用機とすることができ、送信機、受信機、送風機の三障害に対し自動的に予備機へ切替えることができる。

現用と予備の切替時間はできるだけ短いことが望ましいが、これは回線の要求安定度と運転費の両者から決められるべきことである。最も経済的なのは予備機はヒータを含めて完全に電源を切っておく方式で、本装置ではこれを採用している。しかしこの方式ではヒータ電圧印加後60秒たたないとキャビティ電圧を印加できないので切替に要する時間が大変長くなる。これを防ぐため、ヒータ電圧を予備機側では完全に落さず約5Vとしておき、切替と同時に6.3Vに上げ20秒後にキャビティ電圧を印加することにした。

送信機障害はクライストロン出力を整流し、メーターリレーを振らせて出力低下時に警報を出し、送風機障害は送風機の吹出口にあるサーモスタット接点により警報を出す。これらの障害の場合は直ちに予備機に切替わり、20秒後に高圧が印加され、約10秒後には回線が復旧する。受信機障害はAGC電圧により動作するスケルチ回路より警報を出し、90秒待ち時間を置いてから予備機側へ切替わる。この90秒間に予備機側には高圧が印加され完全に立上っているので切替わると同時に無線回線は復旧することができる。



第11図 トランジスタDC-DCコンバータの温度特性

3.5 電源部

トランジスタ式装置は一般に一掃直流電源によって運転されることが種々の点から有利である。今回納入された装置も直流24V(+側接地)の供給を受け、これよりクライストロンおよびその他回路に必要な各種電源を作っている。

3.5.1 クライストロンヒータ電源

この回路は最近広く使われ出した直列制御形定電圧回路⁽²⁾で24Vより直接6.3Vの定電圧を作っている。

3.5.2 リペラ、キャビティ電源

定電圧化された高圧を必要とするもので前項と同じ形の定電圧回路すなわち出力電圧18V、入力電圧変動圧縮率約40dBのものとトランジスタDC-DCコンバータを継続し、定電圧の高圧を得ている。

クライストロン電源に要求される性能は、(1) 入力電圧の変動に対して出力電圧の変動がはるかに小さい。(2) 電圧漂動が小さい。(3) 温度係数が小さいことである。漂動電圧は高圧側(たとえば500V)で0.1V以下で十分無視できる値であった。しかし温度特性はトランジスタのDC-DCコンバータの本質的なものと考えられ、トランジスタのコレクタ、エミッタ間飽和電圧(普通0.3V程度)の変化であるから、大きくはないが必ずあることが予想された。第11図は測定データの一例であるが、大略 $-1 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ の温度係数を有することがわかった。この対策として定電圧回路の温度特性をコンバータと逆にして補償することにし、そのために基本電圧用の定電圧ダイオードは特別な温度係数のものを製作使用した。

3.5.3 送風機電源

前述のように400c/s送風機のためにトランジスタDC-ACコンバータにより400c/sを発生している。電動機の電圧は24V(実効値)であるがこのコンバータの出力はほとんど完全な方形波であるため48V P-Pで使用している。

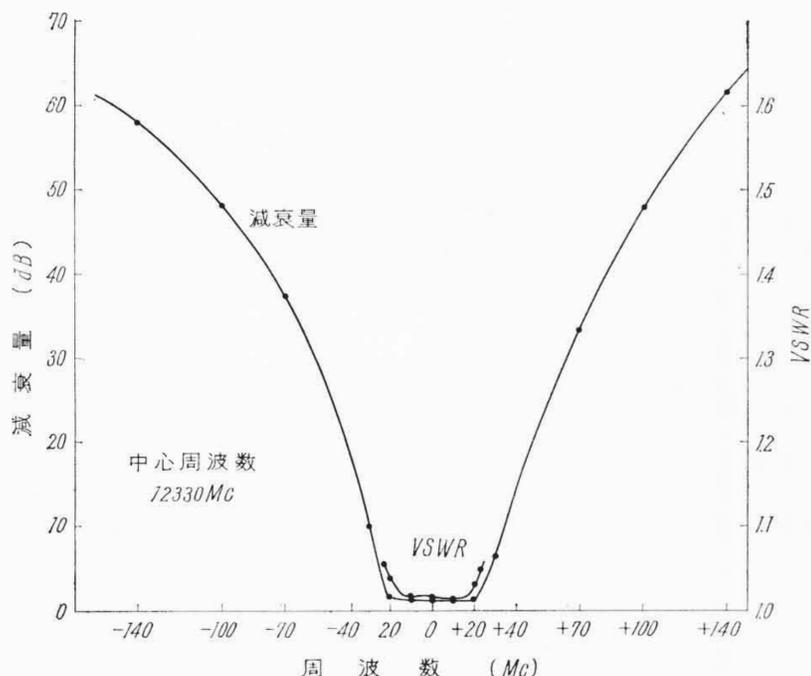
3.5.4 コンバータ電源の特異性

この電源の特異性はトランジスタをスイッチング素子に使用しているために起る問題で、きわめて急激な切替えを行うためコンバータ出力は完全な方形波となり、オーバーシュートのせん頭値はきわめて大きいのが普通である。

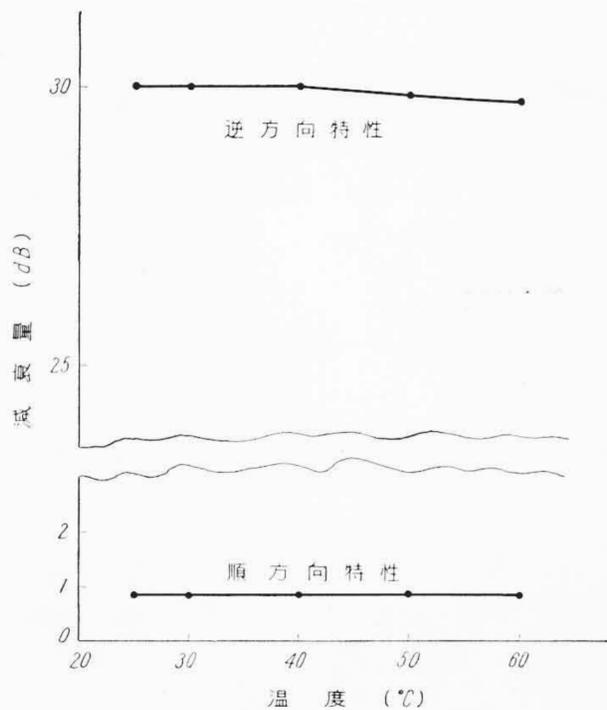
したがって、これを整流し、平滑回路を通してその常数が適当でないと十分平滑化することができない。この出力側のリップル分にも増して問題なのは入力電圧に表われるパルス重畳である。これはスイッチング切替時の大きな過渡電流のためインピーダンスが有限であることにより起きた電圧変化である。この重畳パルスは24V回路の残留雑音と同じ効果を有し、変調増幅器、受信増幅器の出力雑音の増加あるいは架内配線相互間の誘導結合などを起す原因となる。またこの重畳パルスによって、わずかずつ発振周波数の異なった状態で動作しているコンバータに周期的な同期現象が起り、その2次側出力電圧に非常に長い周期の異常変化をひき起したりする。この現象にはコンバータ入力側にそれぞれ単独にLCまたはRCのフィルタを入れて解決することができた。

3.5.5 各電源の起動動作

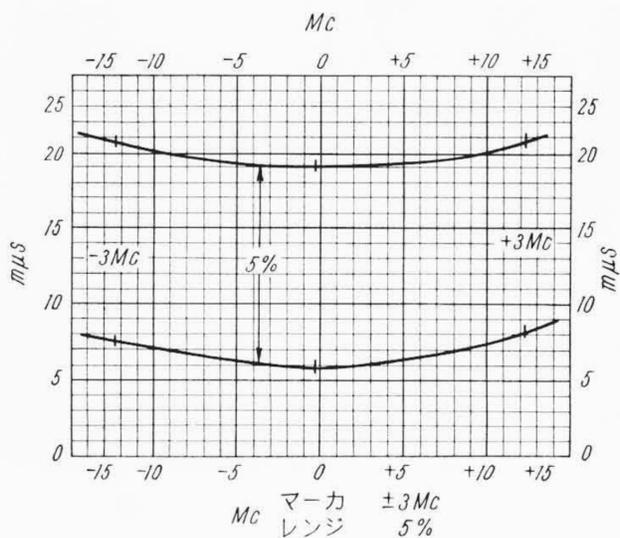
電源スイッチが投入されると前述のようにクライストロンのヒータは約5Vで予熱され、60秒のタイマーが動作を始め、現用機側であれば起動指令の地気がきており60秒経過するとヒータ電圧は6.3Vに上り送風器が動作し、リペラ電圧が印加される。



第12図 送受共用回路(受信濾波器)の特性



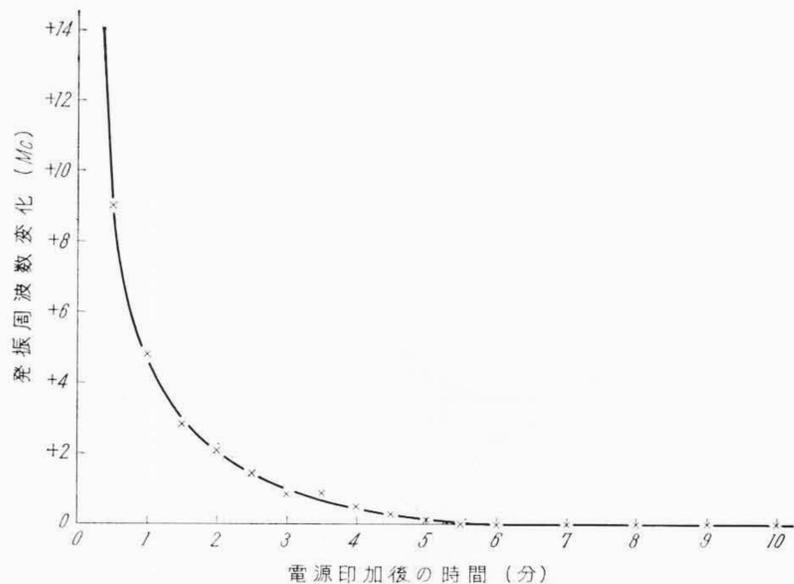
第13図 単流導波管の温度特性



第14図 12V10 変調微分特性

さらに20秒経つとキャビティ電源が動作しはじめる。もし予備機側だと60秒タイマーが動作し終ってもその後の動作を始めないでそのままの状態に止っている。

この電源盤の60秒および20秒タイマーおよび前述の制御系に使われている90秒タイマーはともにCRの時定数を使ったトランジスタと定電圧ダイオードより構成されたものである。



第15図 クライストロン発振周波数の初期漂動

4. 総合特性

4.1 立体回路

受信入力回路のVSWRおよび減衰特性は第12図に示すように±5 Mcの範囲でVSWR 1.05以下、±140 Mcに対し50 dB以上の減衰がある。送信回路にそう入されている単流導波管の温度特性を第13図に示したが、逆方向、順方向とも25~60°Cの温度変化に対してほとんど変化が認められなかった。

4.2 クライストロン

FM多重無線機に使われるクライストロンとして特に重要な特性は変調直線性である。装置に実装した日立12V10クライストロンの変調微分特性は第14図に示すように±3 Mcの範囲で偏差1%以下である。電源投入時の周波数初期漂動はトランジスタ定電圧回路の電圧初期漂動とクライストロンとの総合特性であるが、これを第15図に示す。

4.3 中間周波増幅器盤の特性

中間周波増幅器(前置中間周波増幅部を含む)の遅延特性を第16図に示す。±5 Mcの範囲で、約4 mμs以内の好結果を得ている。また中間周波増幅器の雑音指数の測定結果を第17図に示す。12台測定して6~8 dB内に分布している。また、この値は現在ではさらに改善された結果を得ており、真空管装置に比べほとんど遜色がない。次に復調部の微分特性を第18図に示す。±2.5 Mcの範囲で約1%の良好な特性である。

4.4 クライストロン電源の特性

定電圧特性の一例としてキャビティ電源の入出力電圧特性を第19図に、温度特性を第20図に示す。

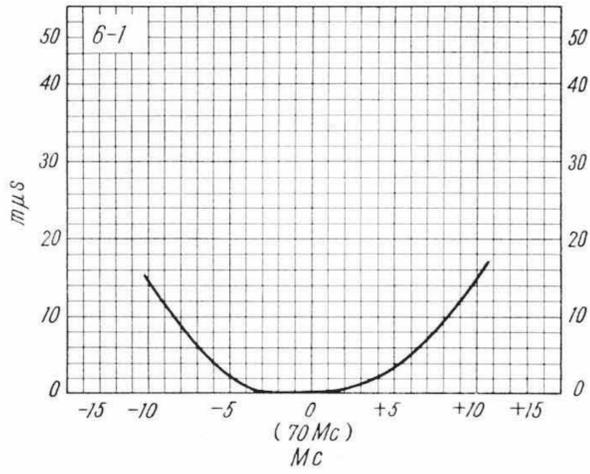
4.5 総合特性

端局との組合せ1対向の中央部通路路S/Nは第21図に示すとおりである。第22図は周波数偏移とひずみ率の関係を示したもので、このひずみ率は主として通路路の準漏話雑音に影響し、60通路路のときは2次ひずみに対して約20 dB、また3次ひずみに対して約26 dBを加えたものが準漏話雑音によるS/Nになる。

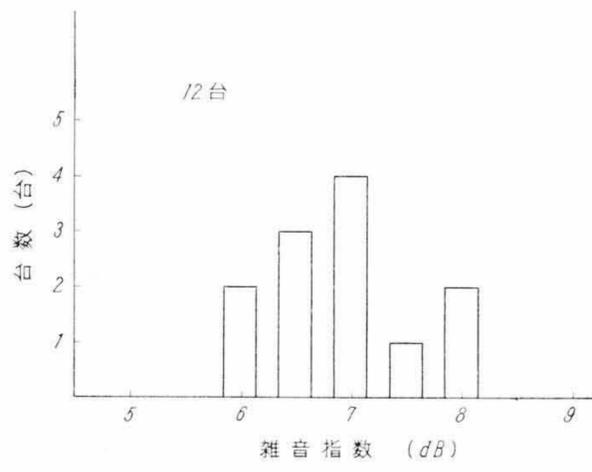
4.6 空中線系

各局とも直径3.3 mのパラボラ空中線を使用している。第23図は阪神電鉄株式会社西の宮局屋上の空中線である。本空中線の特性は12,200~12,350 Mcの範囲でVSWR 1.05以下、半値幅±40、利得約50 dBである。

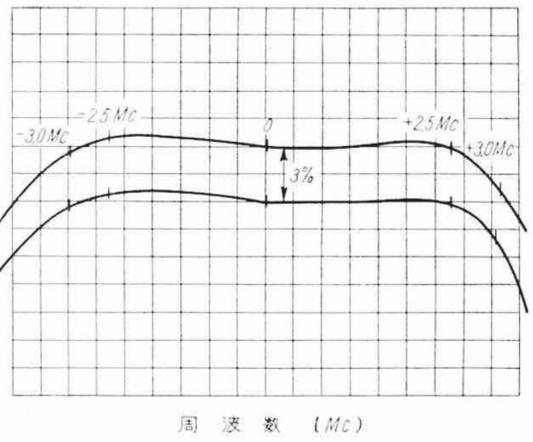
給電導波管(RJ-10使用)の減衰については、現地工事後電力計法、短絡法の2方法により測定したところでは0.15~0.22 dB/mの値である。



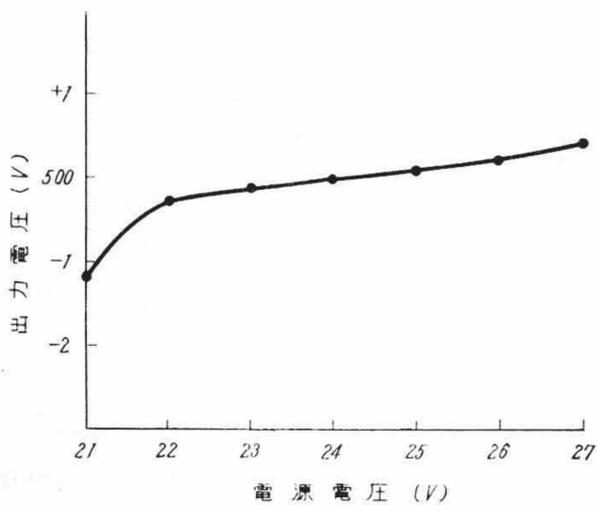
第16図 中間周波増幅器の遅延特性



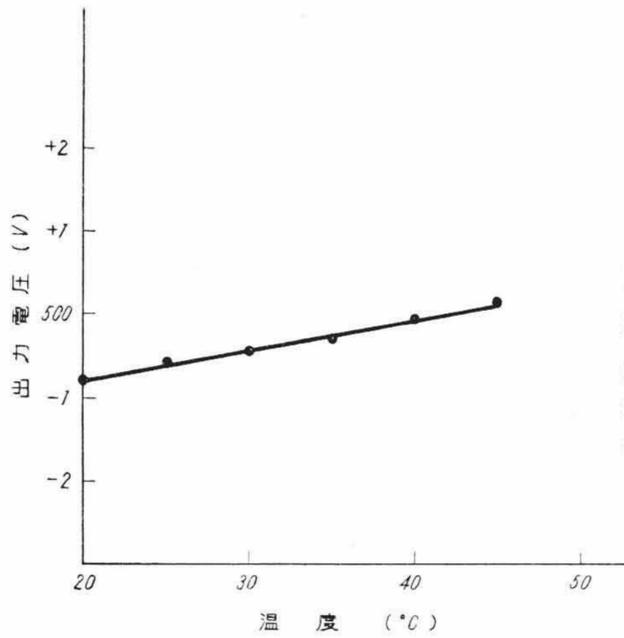
第17図 中間周波増幅器の雑音指数



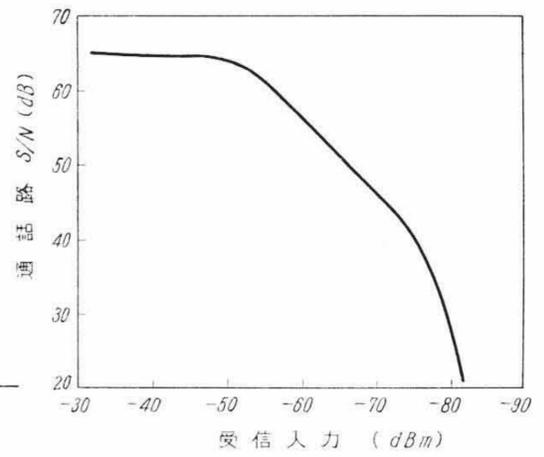
第18図 復調器微分特性



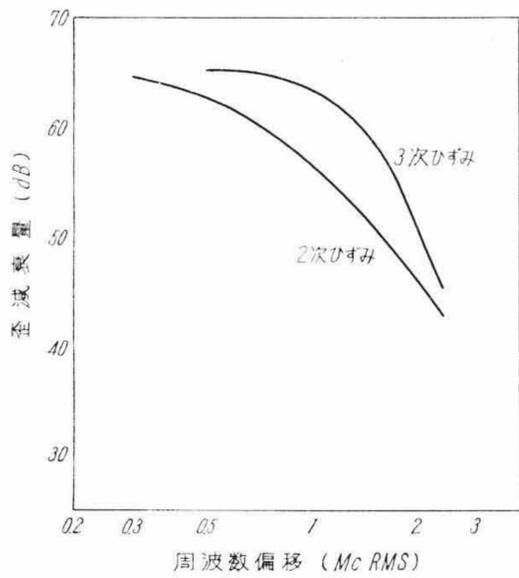
第19図 キャビティ電源の特性



第20図 キャビティ電源の温度特性



第21図 受信入力と通話路S/Nの関係



第22図 周波数偏移とひずみ率の関係

5. 結 言

以上述べたように、マイクロ波送受信機のトランジスタ化についてはおおむね所期の目標を達成することができた。

12 Gc帯の多重回線としての特性については、今後のデータの積み重ねにより、回線の経済設計と信頼度とに関し総合的な結論をまとめなければならない。また、トランジスタ送受信機自体の信頼度、保守に関する諸問題に関しても、今後の多重回線の合理的構成という立場から研究を続けなければならない項目が多く残されている。

最後に、この装置の完成について、種々ご配慮をいただいた阪神電鉄株式会社の常務取締役野田忠二郎氏、電気部長那須恂一氏はじめ関係各位に厚くお礼申し上げるとともに、クライストロン、回路



第23図 西の宮局空中線

に関してご援助をいただいた日立中央研究所の方々に謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 猪瀬, 永田, 木下: 温度補償形トランジスタチョップ電気通信学会 トランジスタ研究専門委員会資料 59年12月
- (2) 永田, 阿部, 木下: トランジスタを用いた直列制御形安定電源 電気通信学会誌 昭35年2月 p.51~p.58