# 6,000 Mc 広 帯 域 信 号 中 継 装 置

6,000 Mc Radio Relay Equipment for Broad-Band Signal Transmission

宇 佐 美 襄\* 関 口 存 哉\*
Noboru Usami Ikuya Sekiguchi

都 木 周 作\* 芳 根 寛 樹\*
Shusaku Toki Hiroki Yoshine

### 内 容 梗 概

600 通話路超多重電話信号あるいはテレビジョン信号を伝送する 6,000Mc FM 中継回線に使用される 無線中継装置を試作した。この試作に当っては上記信号の伝送に関する国際規格に適合するごとくする ほか特性の安定化、保守の簡易化および装置の小形化に重点をおいた。このため送信周波数変換器、局 部発振器 A. F. C. 回路にはマイクロ波フェライトを利用する新方式を用い、電力増幅器としてはパッケ ージ形進行波管増幅器を開発使用した。また中間周波増幅器の製作にはユニット方式を採用している。 本装置は 1 架をもって構成され、また前記信号の長距離中継を行うに十分な伝送特性を有している。

### 1. 緒 言

わが国のマイクロ波通信幹線はすでに札幌,東京,鹿児島を結ぶ日本電信電話公社全国縦貫回線が完成商用されているが,近時全国各地に多数のテレビジョン放送局の設立が予定されるに及びこれら相互間のプログラム交換のため,さらにマイクロ波中継回線の増,新設が計画されるに至っている。これら既設あるいは建設予定中の回線はほとんど 4,000 Mc 帯を利用するものであるが,かかる回線数の増加とともにこの周波数帯の利用はその限度に近づき,主要都市間回線の増設,分岐回線の新設あるいは将来発展を予想されるカラーテレビジョンを中継するための高品質回線の建設は新しい周波数帯の開発にまたなければならなくなっている。

日立製作所中央研究所においては、かねてからかかる 事態の到来を予期し、6,000 Mc 帯を利用して超多重電 話あるいはテレビジョンの長距離 FM 伝送を行うため の無線機器(無線変、復調装置 送、受信装置および中 継装置)の開発を企図し、その第一着手として中継装置 の試作を行っていたが、このほどこれが完成をみるに至 った。本中継装置は600通話路超多重電話信号またはテレ ビジョン信号を伝送する長距離中継回線の中間中継所\*\* に使用するものでヘテロダイン中継方式を採用してい る。電気的特性は超多重電話中継に関する国際規格に適 合せしめた。また装置の設計に当っては性能の安定性、 保守が簡易であることおよび装置の小形化の三点に留意 した。

### 2. 仕様および試作の方針

超多重電話信号あるいはテレビジョン信号のごときい わゆる広帯域信号をFM伝送する無線機器にはきわめて 高度の伝送特性が要求される。この中継装置試作ではこ

\* 日立製作所中央研究所

れが次のごとき国際標準電話中継回線<sup>(1)</sup>に使用されるものと想定して所要特性を定めた。すなわち

回線全長 2,500 km

回線構成 無線変,復調装置各9台を含む

回線容量 周波数分割 600 通話路多重電話信号

伝送品質 搬送多重電話装置を除く無線装置により

定まる通話路信号対雑音比を 51.2db(評価値) 以上とする。

これらより決定した試作装置の電気的仕様を次に示す。

- (1) 受信周波数 5,850~6,420 Mc の 1 波\*\*\*
- (2) 送信周波数 (受信周波数)±40Mc
- (3) 中間周波数 70 Mc
- (4) 受信入力レベル -55~-25 dbm
- (5) 雜音指数 14db 以下
- (6) 送信出力 3W以上
- (7) 振幅特性 ±10 Mcの範囲内で 0.5db 以内
- (8) 遅延特性 ±10 Mcの範囲内で4m µs 以下
- (9) 入,出力定在波比 ±10 Mc の範囲内で1.1 以下 これらの仕様はテレビジョン中継の場合にも十分なもの である。

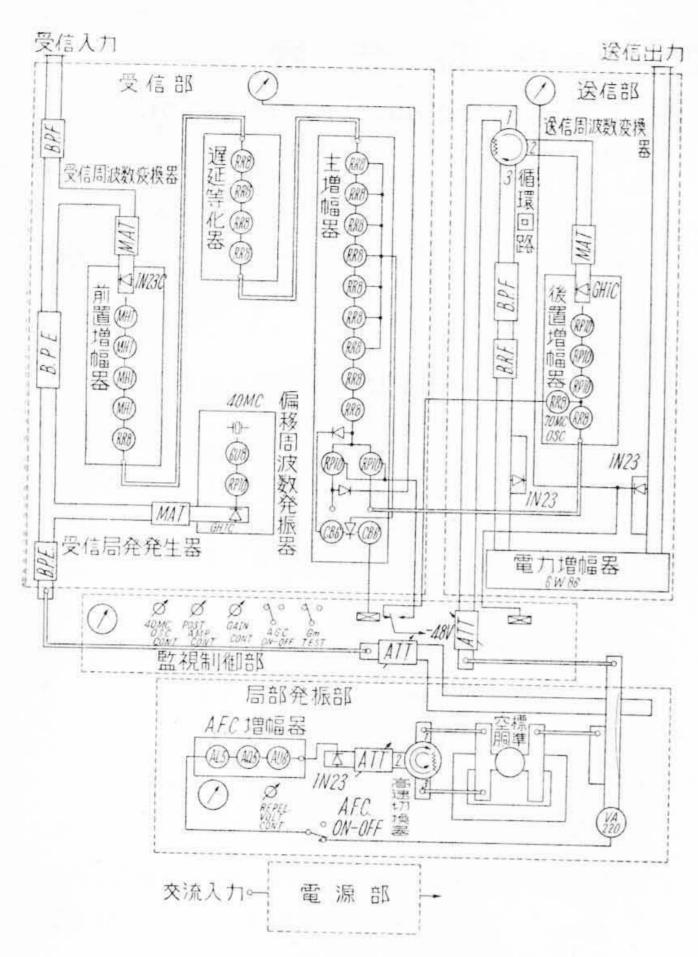
さらにこの試作においてはさきにあげた三点を特に重 視して研究,設計を行った。

### 3. 回路構成

試作装置では中継方式として現在この種の中継装置の標準とされているヘテロダイン方式を採用した。この方式では受信マイクロ波をまず中間周波数に変換しこの周波数で十分な増幅を行ったのちこれをマイクロ波信号に再変換して次局に送出する。第1図が試作装置の回路構成である。これに見られるように本装置は受信部、送信

注: \*\* 伝送信号の変,復調を行うことなくマイクロ 波信号を通過せしめる中継所

\*\*\* 公衆通信業務に割当てられた周波数



第1図 試作装置の回路構成

部,局部発振部,監視制御部および電源部に大別され る。次にこれら各部について少しく説明しよう。

#### 3.1 受信部

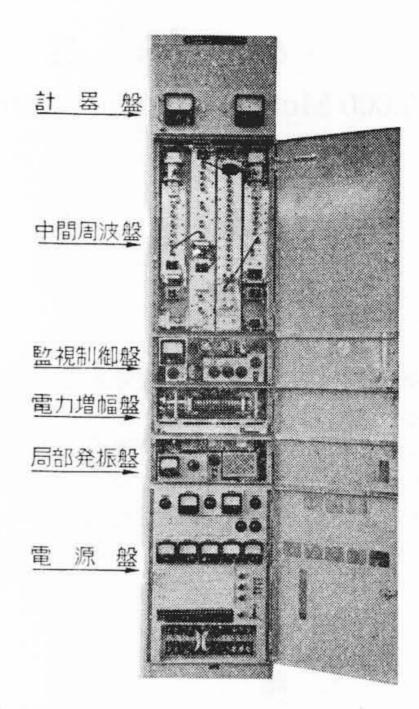
受信部では受信マイクロ波をまず70Mcの中間周波信 号に変換する。この信号は低雑音増幅および遅延等化を 受けたのち主中間周波増幅器において十分増幅され安定 な出力となる。送, 受信周波数に 40Mc の差をもたせる ため受信波の周波数変換には後に述べる送信局部発振波 と 40Mc の周波数差を有する局部発振波を要するがこれ は受信局部発振波発生器において局部発振部出力の一部 を周波数変換することによって作られる。

# 3.2 送信部

受信部からの中間周波信号は後置中間周波増幅器を経 て送信周波数変換器でマイクロ周波数に再変換される。 この変換出力は電力増幅器で増幅されて送信出力とな る。上の変換器はゲルマニウム検波器 GH1C を用い中 間周波信号と送信局部発振波のビート波を作ることによ り周波数変換を行うものであるがこれにはマイクロ波循 環回路を使用する新方式を採用して特性の安定化をはか った。電力増幅器としてはこの試作のため当所において 開発したパッケージ形進行波管 6W86 を用い保守の簡易 化と装置の小形化を期した。

### 3.3 局部発振部

局部発振器としては反射形クライストロン VA-220 を



試作装置の前面外観 第2図

使用している。この発振器には自動周波数制御 (A.F.C) を加えているがこれにはマイクロ波高速切換器を用いる 新方式を採用し特性を安定化した。

### 3.4 監視制御部

この試作では保守を容易ならしめるため装置の監視, 制御操作を行う箇所をできる限り集中設置するほか主要 真空管の相互コンダクタンス試験を行いうるごとくして 定期点検の便をはかった。

### 3.5 電 源 部

本装置は交流 100 または 200V で動作し所要入力は 1kVA である。

# 4. 機械的構造

本装置は小形化の見地から幅 520 mm の架, 1架とす ることとしたが試作機である関係上実験のための計器な どを潤沢に設けたためその高さはやや大きくなった。第 2図が前面外観である。構造は固定架形式であり実装部 の高さは 2,375 mm となっている。装置前面は図示のご とく計器盤,中間周波盤,監視制御盤,電力増幅盤,局 部発振盤および電源盤の各盤に区分されている。また調 整および部品交換の諸操作はすべて前面で行い得るごと くした。導波管回路は部品交換を要する箇所のみを前面 に出しほかはすべて背面に装備してある。

### 5. 主要部分の説明

#### 5.1 受信部

### 5.1.1 受信周波数変換器

受信周波数変換器はいわゆるシングルミクサで鉱石 検波器 1N23C を使用している。受信沪波器は 4 段の 振幅最大平たん沪波器で影像周波に対し約 55 db の抑 圧度を有する。

#### 5.1.2 前置中間周波增幅器

前置中間周波増幅器は 6M-H1 4段および 6R-R8 1段よりなる。 6M-H1 は格子接地形として用いておりその段間は陰極入力コンダクタンスを負荷とする二重同調回路である。この増幅器の利得,帯域幅および雑音指数はそれぞれ 24 db, 42 Mc および 5 db である。

#### 5.1.3 遅延等化器

遅延等化器は装置全体の遅延時間偏差(ほとんど中間周波増幅器に起因する)を補償するために設けたもので橋絡T形回路2段を用いている。また使用真空管は6R-R8 4個である。

### 5.1.4 主中間周波增幅器

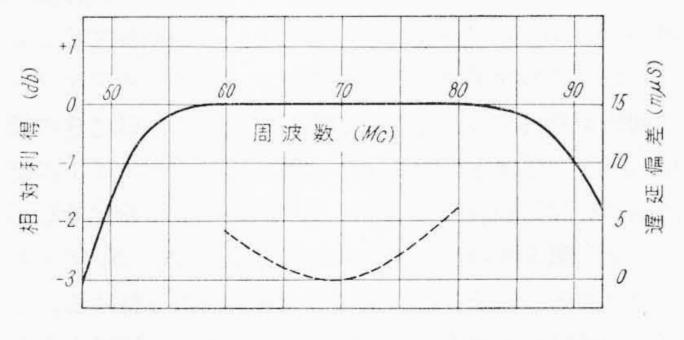
主中間周波増幅器は 6R-R8 9段と終段増幅管 6R-P10 2個よりなる。終段増幅管は並列に励振され各出力端に中間周波出力が得られる。また自動利得制御 (A.G.C)用増幅器として 6CB6 2個を用いている。主増幅器では特性の安定化を期するため各段の振幅特性を特に広帯域ならしめた。段間回路はいずれも同一でオートトランス形振幅最大平たん二重同調回路(格子側負荷)を使用した。これにより大きな結合係数が得られ広帯域特性を容易に実現することができた。

実際の製作に当っては各段の主要部品を小金属板上に組立てたユニットを標準増幅回路に取り付けて調整しておきつぎにこれらを集めて増幅器を製作するという方法を用いた。この方法によれば工場において容易に部品の品質管理が行われ製品が均一化される。

主増幅器は  $65\,\mathrm{db}$  の利得を有し、また出力レベルは  $+4\,\mathrm{dbm}(75\Omega)$  である。第 3 図にその振幅特性および 遅延特性を示した。A.G.C. 系は遅動形で $-20\sim+10\,\mathrm{db}$  の入力変化に対して出力変化を  $0.8\,\mathrm{db}$  以内におさえる。

#### 5.1.5 受信局部発振波発生器

受信局部発振波発生器は局部発振器出力と偏移周波数(40 Mc)発振器出力を鉱石検波器に加えここで発生



第3図 主中間周波増幅器の振幅および遅 延対周波数特性

するビート波の一つを沪波器で抽出して受信局発波とする。この沪波器としては6段のものを用い帯域外40 Mc で80 db の減衰量を得ている。

#### 5.2 送信部

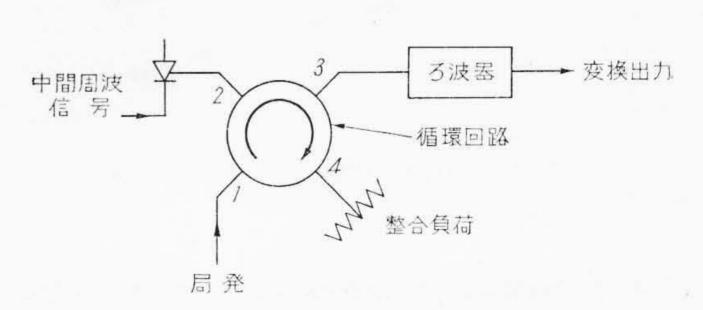
#### 5.2.1 後置中間周波增幅器

後置中間周波増幅器は 6R-R8 1段および 6R-P10 3段よりなり最終段で送信周波数変換器の GH1C 検波器を励振する。またこのほかに 6R-R8 1個の 70Mc 発振器を有し受信部出力が消滅した場合に擬似信号を送出する。後置増幅器の段間回路は主増幅器と同様であるが検波器交換に伴う特性変化を小ならしめるよう配慮してある。

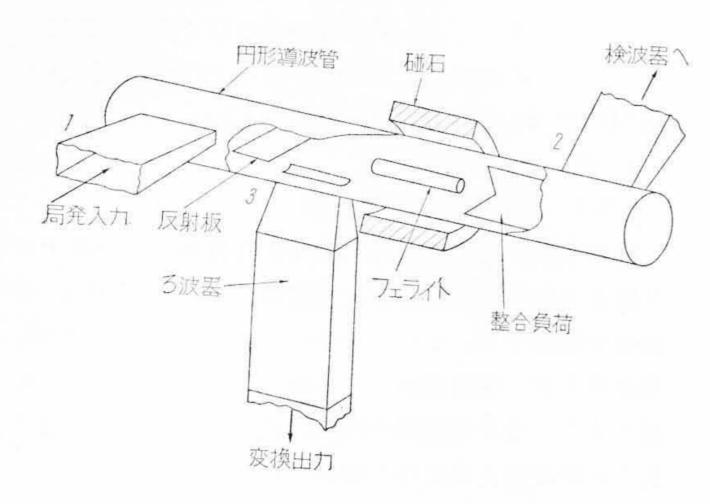
#### 5.2.2 送信周波数変換器

送信周波数変換器は装置の伝送特性に影響するところが大きくその回路方式に十分留意しなければならない。すなわちこの変換器の鉱石検波器では所要ビート波以外に多数の不要ビートが発生するが、この不要波が出力沪波器で反射されて検波器に再入射するような場合にはここでふたたび周波数変換が行われ二次的な変換出力が生ずる。この二次出力の一次出力に対する遅延時間が周波数によって変化することが原因となって振幅特性および遅延特性が劣化する。かかる不要波の影響についてはすでに一、二の対策が考案されているが(2)(3)この試作では近時発達せるマイクロ波用フェライトを用いる循環回路(4)を応用した新方式(5)を採用した。

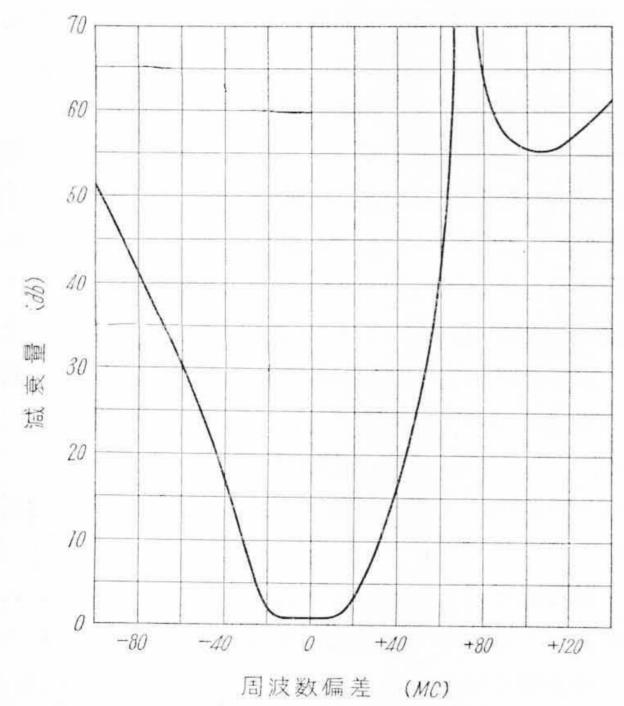
第4図に示したのがこの方式の原理図である。これに見られるごとく局発波は循環回路の端子 1,2 を経て検波器に加えられる。ここで発生したビート波は端子 2,3 を通って出力沪波器に入射し所要波のみが抽出される。不要波は沪波器で反射されるが端子 4 に設けた整合負荷に吸収されるため上のような悪影響は生じない。この方式はこのほかさらに次のような特長を有する。すなわち端子 1,3 間に直接結合がないため局発波の漏洩がなく出力沪波器の所要減衰量が軽減される。また検波器の反射波が局部発振器に逆流しないためその動作が安定になる。試作装置の循環回路はフェライト中におけるマイクロ波の偏波面回転(ファラデー効果)を利用するもので第5図のごとき構造をも



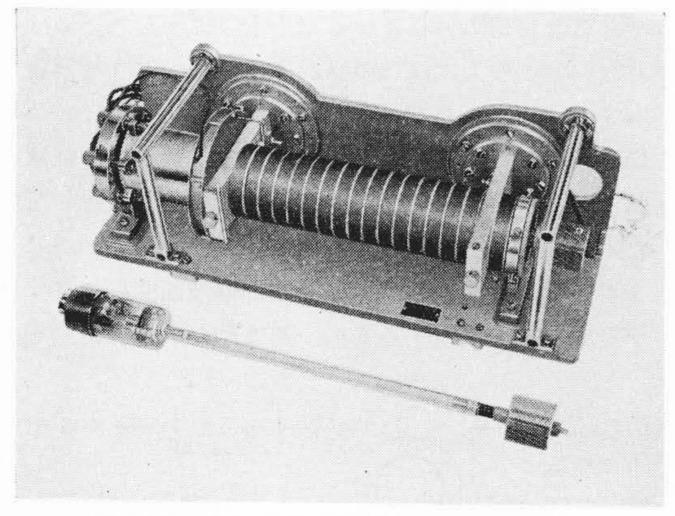
第4図 循環回路を応用する周波数変換器



第5図 試作循環回路の構造



第6図 送信周波数変換器出力沪波器の特性



第7図 進行波管 6W86 および試作中継 装置用マウント

つ。整合負荷は円形導波管内に取り付けてあり4なる 端子は特に設けてない。試作した循環回路の主要な性 能は次のとおりである。

端子1→2間および→3間損失 0.8 db 端子1→3間結合度 -20 db

端子3→1間結合度 -32 db

端子3→2間結合度 -30 db

出力沪波器としては4段の帯域通過沪波器と2段の 帯域阻止沪波器を縦続に使用している。第6図に示し たのがその特性である。

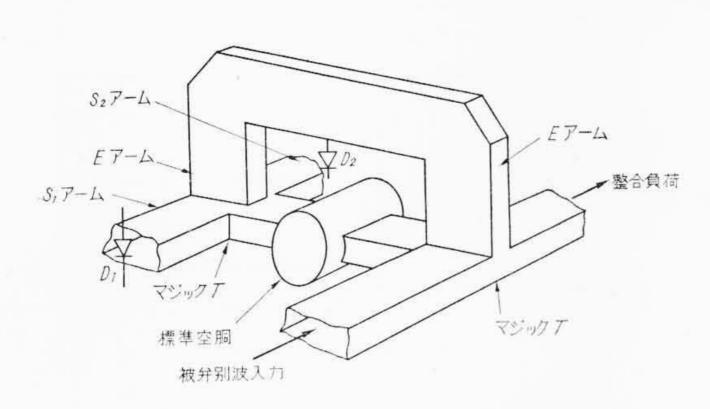
### 5.2.3 電力增幅器

電力増幅器としては進行波管 6W86<sup>(6)</sup> をパッケージ 形マウントに装備したもの<sup>(7)</sup>を使用している。 6W86 はヘリックス電圧約 2,600 V, ビーム電流 35 mA で動 作し飽和出力および小信号利得はそれぞれ 6 Wおよび 25 db である。マウントは進行波管電子ビーム集束系 および入, 出力整合装置よりなり中継装置本体との着 脱が容易であることを主眼として設計されている。ビ ーム集束はほとんどバリウムフェライト系磁石を用い る周期磁界で行われるが入力導波管部分には所要電力 約 10W の小形電磁石を使用した。第7図がこの進行 波管およびマウントである。

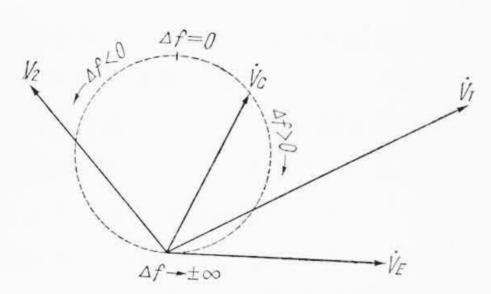
#### 5.3 局部発振部

局部発振クライストロン VA-220 は高い周波数安定度 をもつが本装置ではさらに独立同期, 電気式 A.F.C. を行 い周波数変化を ±5×10<sup>-5</sup> 以内におさえている。この試 作ではA.F.C. のための周波数弁別法として RIDEOUT の回路として知られている方法(8)にマイクロ波高速度 切換器を付加する新方式を採用した。ここでまずこの RIDEOUT の方式について簡単に説明しておく。 第8 図に示したのがこれの構成である。図の検波器  $D_1$ , Dに加わるマイクロ波電圧  $V_1$ ,  $V_2$  は標準空胴を通過した 波  $V_C$  と図の E アームを経た波  $V_E$  の和および差であ り第9図のベクトル図で表わされる。図中の円は周波数 の変化に対する  $V_c$  の軌跡である。これに明らかなよう に  $V_1$ ,  $V_2$  は周波数偏差の正負によりその大小関係が逆 転する。したがって  $D_1$ ,  $D_2$  の整流電流の大小を比較す れば周波数偏差が弁別されるがこの方法では  $D_1$ ,  $D_2$  の 感度が等しくなければ弁別に誤差を生ずる。

この試作ではこの欠点を除去するため1個の検波器で 図の  $S_1$ ,  $S_2$  両アームの出力を交互に切換整流すること とした。このマイクロ波切換にはフェライトのファラデ ー効果を利用する高速切換器を用いた。これはさきの循 環回路と同様なものであるが切換器ではフェライトに交 流磁界を加え偏波面を ± 45 度の間周期的に変化せしめ る。また第5図の端子1,3には第8図の $S_1$ , $S_2$ アーム 出力を加え、端子2には整流用検波器を取り付ける。こ の交流磁界が正弦波であるとき検波器出力の切換周波数 

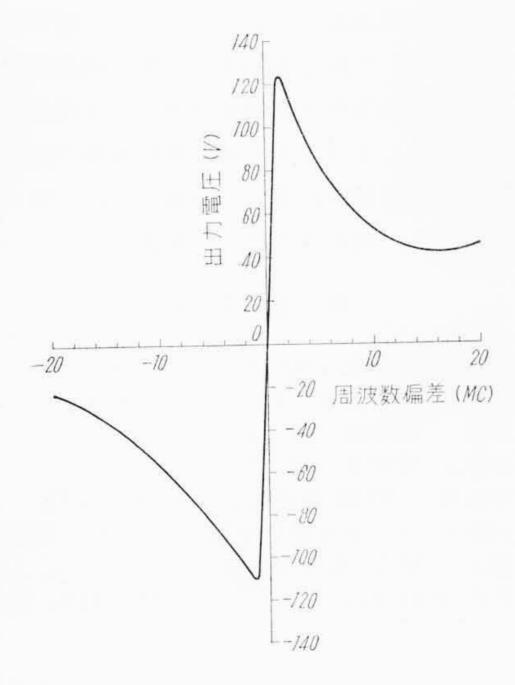


第8図 RIDEOUT 方式の構成



《Eアーム電気長は  $\Delta_f$ =0 のとき  $\dot{V}_C$ ,  $\dot{V}_E$  が直交するように選んでおく)

第9図 RIDEOUT方式の原理

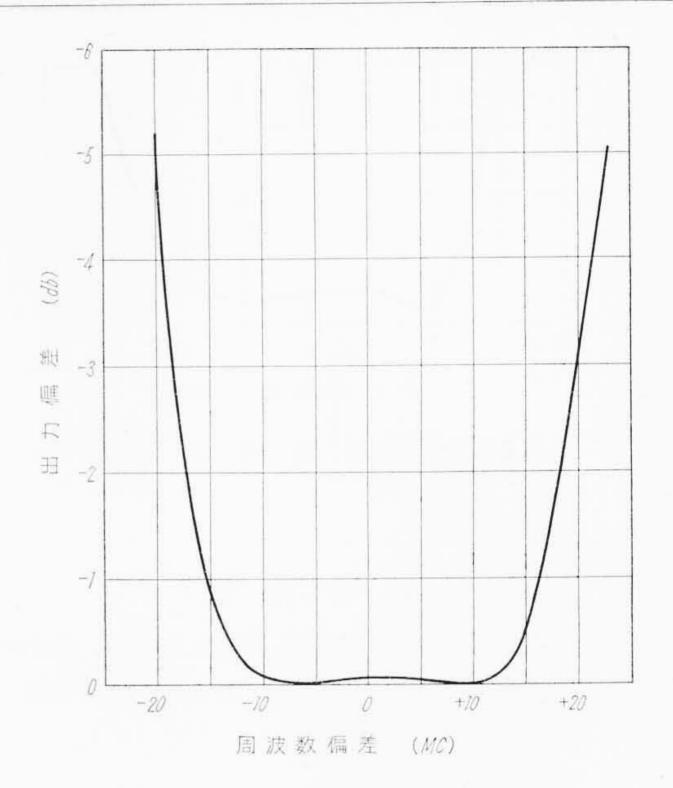


第10図 A.F.C. 用周波数弁別器の出力電圧

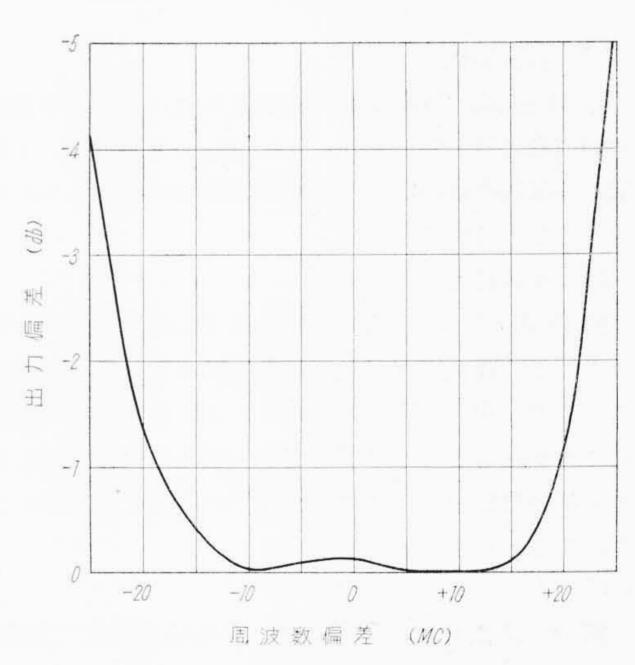
$$v \propto rac{\left(rac{Q_n}{Q_e} - 1
ight) Q_u rac{\varDelta f}{f_0}}{\left(rac{Q_u}{Q_e}
ight)^2 + \left(2\,Q_u rac{\varDelta f}{f_0}
ight)^2} \ldots \ldots (1)$$

ここに  $Q_u$ ,  $Q_e$ : 空胴の無負荷Qおよび負荷Q

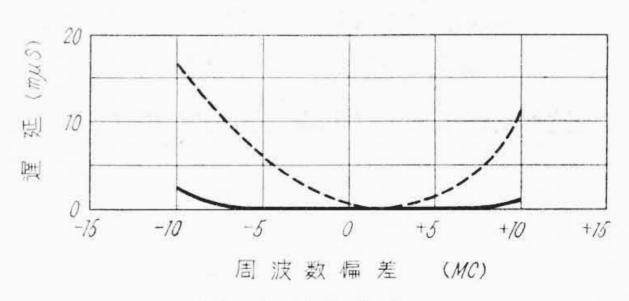
 $f_0$ ,  $\Delta f$ : 標準周波数および周波数偏差 上式に見られるようにvは  $\Delta f$  の正負により位相が反 転する。したがってvを位相弁別すれば周波数弁別出 力が得られる。 第 10 図 にこの弁別出力を示した。



第11図 受信部振幅特性



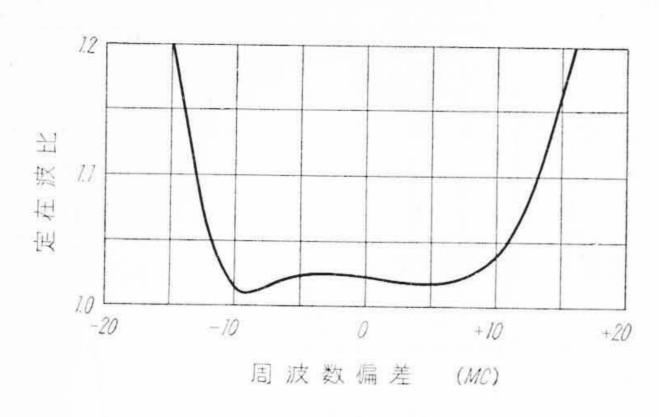
第12図 送信部振幅特性



破線: 遅延等化前 実線: 遅延等化後

第13図 試作装置の遅延特性

A. F. C. 系のループ利得は約300 あり応動範囲は保持, 引込みともに  $\pm 30~{
m Mc}$  以上となっている。



第14図 入 力 定 在 波 比



この中継装置の特性のうち最も重要なものは,雑音指数,振幅特性,遅延特性および入,出力定在波比の四つである。次にこれらの試験結果について述べよう。

#### (1) 雜音指数

この中継装置の受信入力端における雑音指数は 12.5 ~13.5 db であった。

### (2) 振幅特性

第11 図および第12 図に受信部および送信部の振幅 対周波数特性を示した。これに見られるように ±10 Mc の伝送帯域内における振幅偏差はいずれも 0.2 db 以下となっている。

### (3) 遅延特性

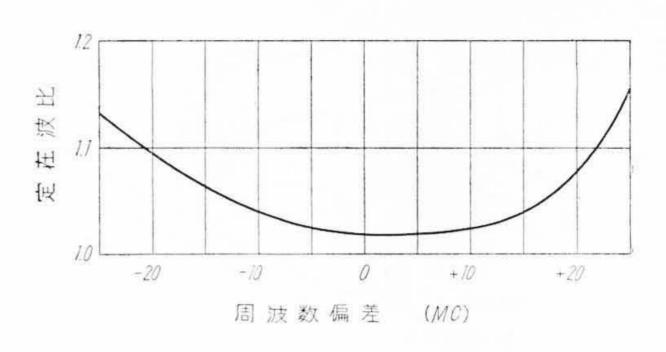
第13 図 がこの装置の遅延特性である。これにみられるごとく遅延等化前の遅延偏差はほとんど中間周波増幅器の二次,三次位相ひずみによるもののみで送信周波数変換器などで生ずる高次ひずみの影響はみられず遅延等化器を用いれば帯域内での偏差を  $4 \,\mathrm{m} \,\mu\mathrm{s}$  以下におさえることができている。

### (4) 入, 出力定在波比

第14,15図がこの装置の入,出力定在波比である。 これに示されているように  $\pm 10$  Mc の帯域内における定在波比はいずれも 1.1 以下となっている。

## 7. 結 言

以上述べたように 6,000 Mc 帯用広帯域信号中継装置



第15図 出 力 定 在 波 比

の試作を行い600通話路超多重電話信号の中継を行うに十分な特性を得ることができた。最初に述べたようにマイクロ波中継回線を構成するにはこの装置のほか端末局設備が必要であるがこれらについても現在研究中である。また近時さらに多くの通話路を収容しうる装置が要望されるに至っているがこれが実現のための特性の改善に関しても引続き検討を進めている。

終りに臨み本試作に御援助を与えられた日立製作所本 社通信事業部渡辺技師長,田口次長,三木副部長に対し また種々御助言を賜わった同戸塚工場無線設計課各位お よびマイクロ波回路部品の製造に当られた昭和電子株式 会社の各位に対して謝意を表する。また終始御激励を賜 わった日立製作所中央研究所菊田所長,浜田副所長,高 田部長に御礼申し上げるとともに進行波管の開発に当ら れた沢田主任研究員ほか各位,実験,設計に協力された 相田,本田,秦,海老沢の諸君に感謝する。

### 参考文献

- (1) 緒方: 信学誌 40, 453(昭 32-4)
- (2) 深海: 通研月報 7, 181(昭 29-4)
- (3) 川橋: 信学誌 41,9(昭 33-1)
- (4) 岩片: 信学誌 38, 1003(昭 30-12)
- (5) 宇佐美: 昭33連合大会885(昭33-5)
- (6) 沢田: マイクロ波真空管研究委員会(昭 31-6)
- (7) 都木: 昭 31 通信学会全国大会 152(昭 31-11) (8) V.C. RIDEOUT: I.R.E. 35 (AUG 1947)