

トランジスタ式テレビジョン中継装置

Transistorized Television Microwave Relay Equipment

南野 幸雄* 小峰 武** 中西 正丈**
 Yukio Minanino Takeshi Komine Masatake Nakanishi

内 容 梗 概

従来の真空管式テレビジョン中継装置をクライストロン以外の部分についてすべての真空管をトランジスタ化し、周囲温度 $-10 \sim +40^{\circ}\text{C}$ において真空管に優るとも劣らない性能が得られたので、その成果に関して報告したものである。なお従来の方式に比しすべてユニット化し、非常に操作、保守が容易になった。また変調増幅器および中間周波増幅器はメサ形トランジスタを使用し、特性の向上を図った。

1. 緒 言

テレビジョン中継装置は、固定形（以後 STL と呼ぶ）と、移動形（以後 FPU と呼ぶ）の二種類に分類されるが、日立製作所ではまず温度条件の比較的ゆるやかなトランジスタ式 STL の試作を行ない、その結果屋外においても十分使用できる安定度が得られたので、続いて小形、軽量および消費電力の軽減化をはかり機動性に富む FPU のトランジスタ化を行なった。

ここでは製品化された UTT, URT-15 形, 7,000 Mc 帯, 出力 1W の FPU について説明する。本装置は第 1 図のように送信ヘッド部, 送信制御部, 送信整流電源部, 受信ヘッド部, 受信制御部, 受信整流電源部および送受信パラボラ空中線より構成されているが、電池を使用する場合は送受信整流電源部は不要である。

なお音声端局は送受信制御部に内蔵されており、音声多重のときは切換スイッチのみで操作できるように考慮を図った。またカラーテレビジョン信号を伝送する場合は、送信ヘッド部, 受信制御部にエンファシス回路を挿入したユニットを使用することにより可能である。

2. 装置の系統および仕様

2.1 系 統

装置の系統は第 2 図送信装置系統図および第 3 図受信装置系統図に示すとおり、クライストロン以外はすべてトランジスタ化を図り、モノクロ信号を伝送する場合は系統図のエンファシス回路の挿入されていないユニットを使用するなど、回路構成が簡単になっている。

2.2 仕 様

本装置の設計仕様は概略下記のとおりである。

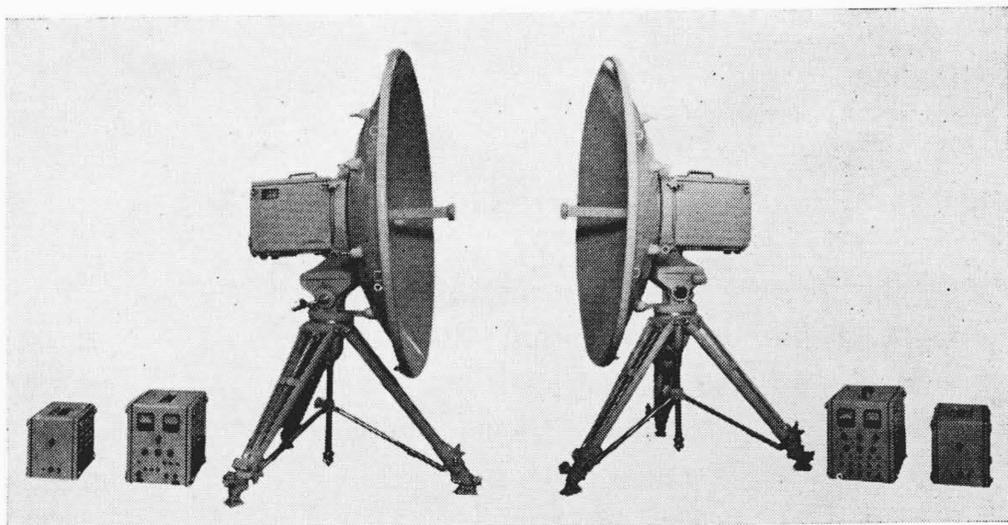
2.2.1 定 格

(1) 送 信 装 置

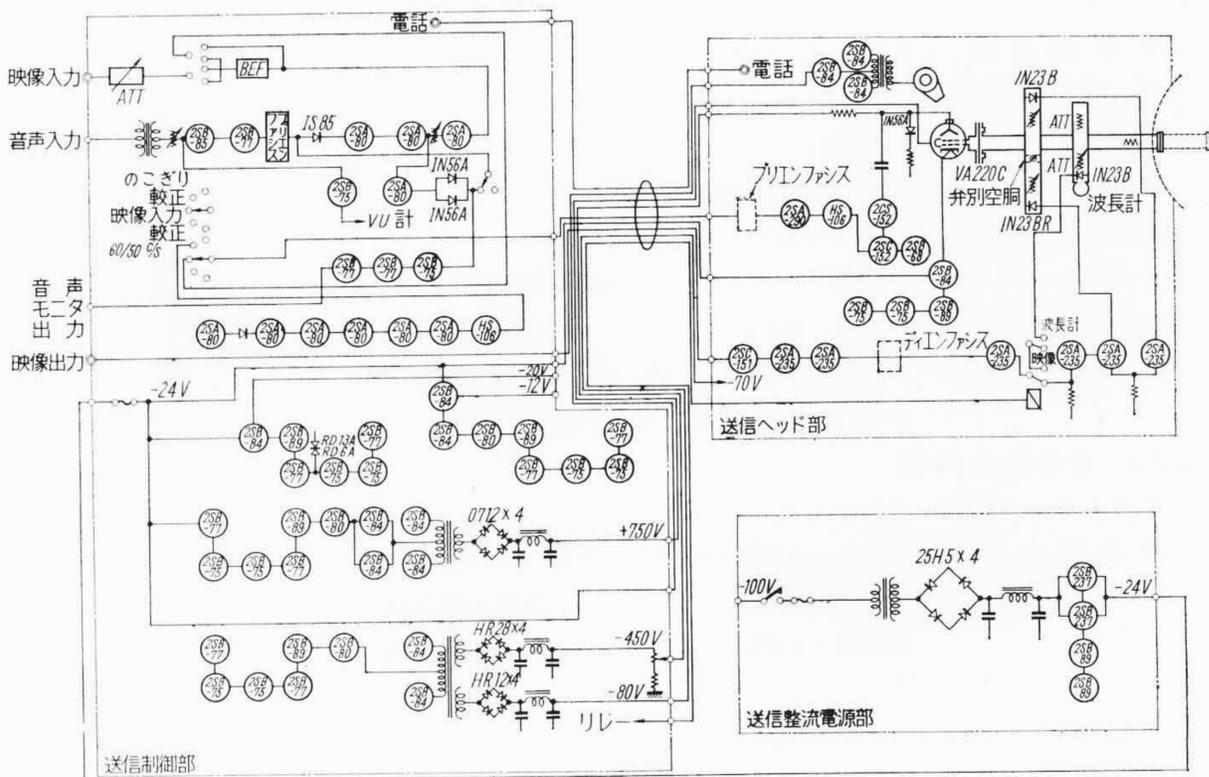
搬送波周波数 6,875~7,125 Mc
 変調方式 周波数変調方式

* 日立製作所本社

** 昭和電子株式会社小金井工場

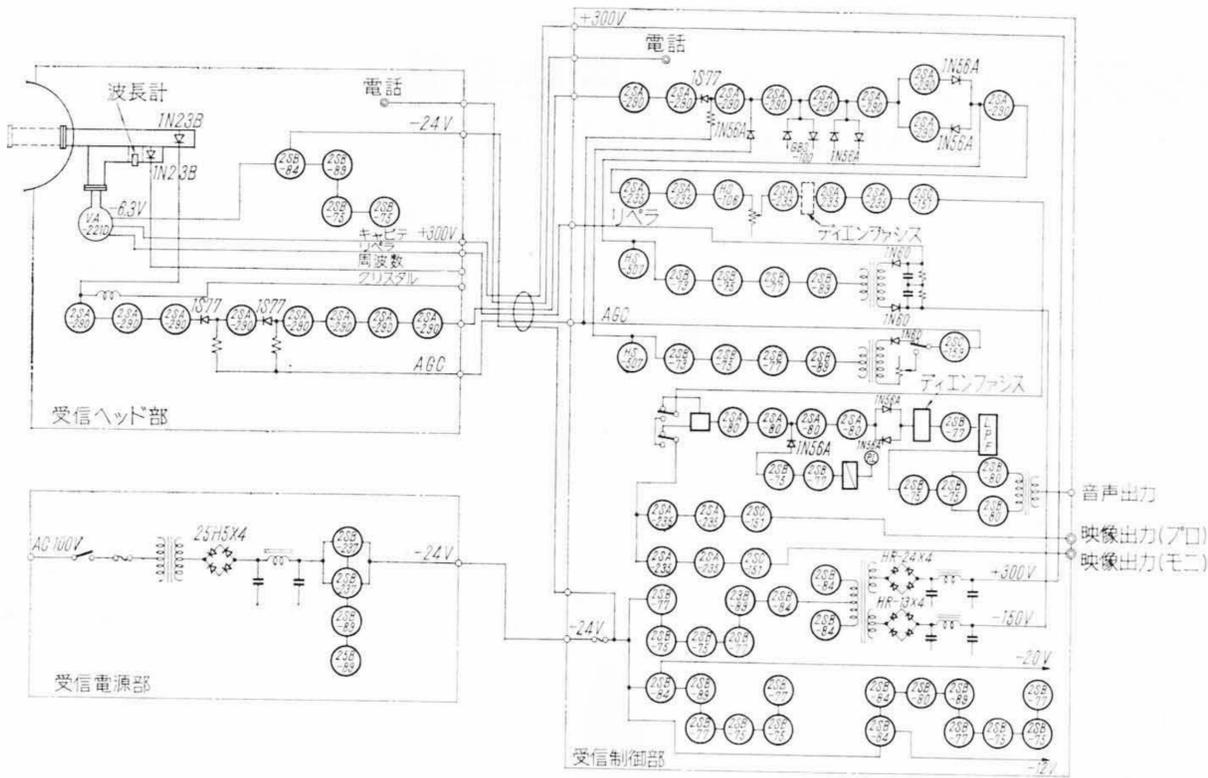


向かって 右 送信装置, 左 受信装置
 第 1 図 UTT, URT-15B 形送受信装置



第 2 図 UTT-15B 形送信装置系統図

周波数偏移	モノクロ 10 Mc p-p
	カラー 5 Mc p-p 60 c/s において
送信出力	800 mW 以上
周波数安定度	$\pm 3 \times 10^{-4}$ 以下 ただし電源電圧 $\pm 5\%$ の変化に対して
映像入力レベル	1.4 V p-p (同期信号負)
映像入力インピーダンス	75 Ω



第3図 URT-15B形受信装置系統図

直線性	100% 変調まで V5%, S10%
微分利得	±0.5 dB 以下 (3.58Mc において)
微分位相	±2° 以下 (3.58 Mc において)
音声周波数特性	50 c/s~10 kc/s ±1 dB 以内
音声ひずみ率	50 c/s~10 kc/s 2% 以下 100 c/s~5 kc/s 1.5% 以下

3. 性能

3.1 変調増幅器

クライストロン VA-220C の変調感度は 0.3~0.4 Mc/V であるため、10Mc p-p の周波数偏移を得るためには本増幅器の直線性 (40 c/s~6Mc/s の範囲において) は 50 V p-p 以上必要とする。したがって本増幅器においてはコレクタ電圧を高くして高出力信号電圧を出すためコレクタ損失の点でトランジスタ 1 本では所定の特性が得られないので、第4図のような日立製作所製シリコン、メサ形トランジスタ 2SC152 を 2 本直列に接続し、TR1 および TR2 の各コレクタ、エミッタ間電圧 V_{CE} を

- 映像監視出力レベル 1.4 V p-p (同期信号負)
- 映像監視出力インピーダンス 75 Ω
- 音声入力レベル +4 dBm (ただし 0~+10 dBm まで可変)
- 音声入力インピーダンス 600 Ω
- 副搬送波周波数 6 Mc ±0.2%
- 副搬送波変調方式 可変容量周波数変調方式
- 周波数偏移 ±40 kc
- 電源 AC 80, 90, 100, 110, 117V 50/60 c/s
120 VA および DC -24V 約 4.5A

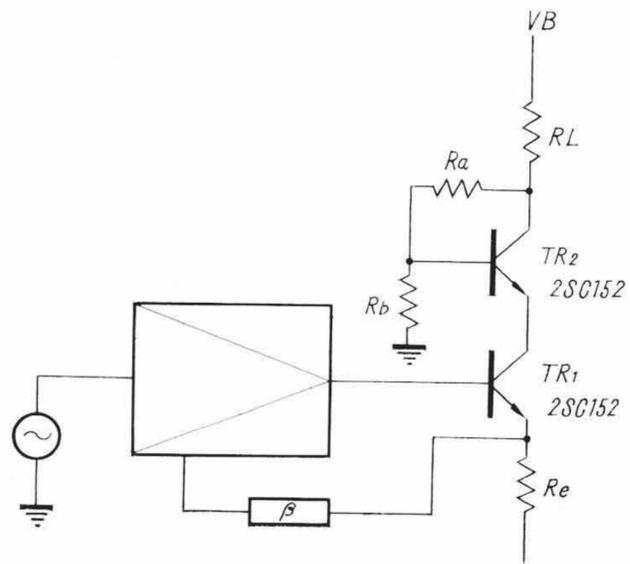
(2) 受信装置

- 受信周波数 6,875~7,125 Mc
- 受信方式 スーパーヘテロダイン方式
- 中間周波数 130 Mc
- 映像出力レベル 1.4 V p-p (同期信号負)
- 映像出力インピーダンス 75 Ω
- 音声出力レベル +10 dBm (ただし 0~+10 dBm まで可変)
- 音声出力インピーダンス 600 Ω
- 電源 AC 80, 90, 100, 110, 117V, 50/60 c/s,
100VA または DC -24V, 約 3 A

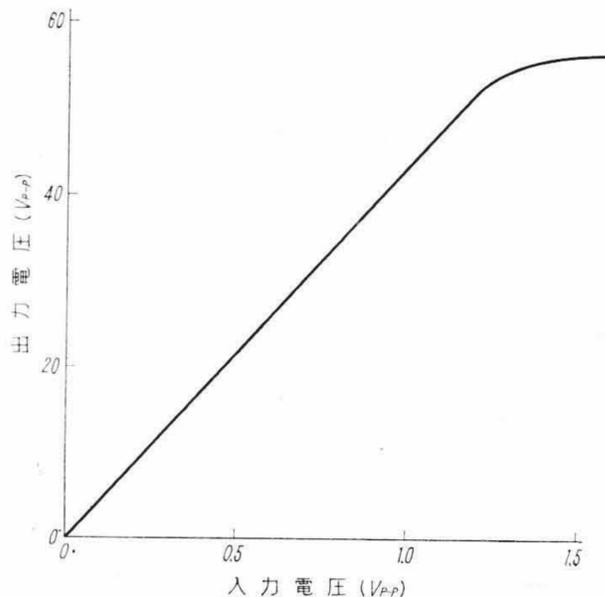
2.2.2 送受総合特性

- 受信入力 -40 dBm において次のとおりである。
- 周波数特性 40 c/s ~ 5.5 Mc ±1 dB (100 kc 基準) 6.0 Mc 以上下降特性。ただし音声多重の場合は 4.5 Mc ±1 dB, 5 Mc 以上 BEF で定まる特性
- 信号対雑音比(ハム) 50 dB 以上 (p-p/p-p)
- サグ くり返し 60 c/s 方形波に対して 3% 以下
- 立上り時間 くり返し 100 kc 立ち上がり 0.05 μs 以下の入力に対して 0.08 μs 以下。ただし音声多重の場合は 0.1 μs 以下
- オーバーシュート くり返し 100 kc 立ち上がり 0.05 μs 以下の入力に対して

50%立ち上りの時間	リップル	備考
0.2~0.4 μs	±4% 以下	音声多重の場合は オーバーシュート ±12% 以下
0.4 μs 以上	±1% 以下	



第4図 変調増幅器回路図



第5図 変調増幅器直線性

ほぼ等しくして、コレクタ損失を少なくし、第5図に示す特性を得た。なお本増幅器の設計にあたり、送信ヘッド部を真夏の炎天下に2時間以上放置した状態にて内部の温度が60°Cになることを考慮し、周囲温度60°Cのとき2SC152の最大コレクタ損失が80%以下で動作するようにした。

3.2 音声副搬送波ユニット

真空管式ではリアクタンス管周波数変調方式を採用しているが、トランジスタではバイアス変化に対し周波数変化の直線域が少なく設計仕様の周波数偏移が得られないため可変容量ダイオード方式を採用した。本方式はダイオードの電極間電圧を変化させると極間容量が変化することを利用し、音声信号電圧にてトランジスタ発振器のコレクタに接続されている共振回路の容量、いわゆるダイオードの極間容量を変化させて周波数変調を行なうものである。なお可変容量ダイオードとしては日立製作所製1S85を使用している。

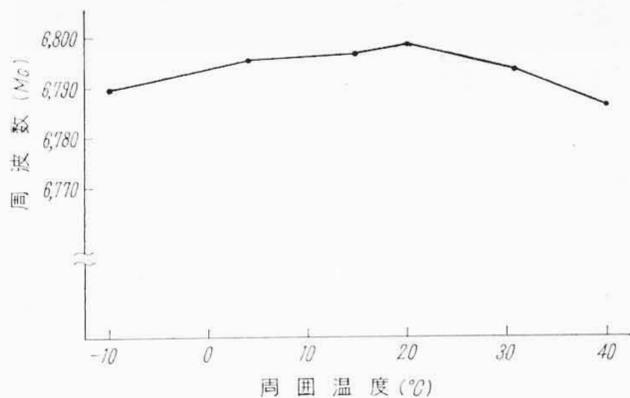
また発振周波数(6 Mc または 6.8 Mc)の安定度は発振用トランジスタ2SB75のベースにサーミスタを使用しIcoの変化を補償し、さらに副搬送波出力を検波して、その直流電圧を可変容量ダイオードにフィードバックするAFC(自動周波数制御 Automatic Frequency Control)を用いているため-10~+40°Cにおいて±2×10⁻³の値を得た。なお特性は第6図に示す。

3.3 送信管

クライストロンには、強制空冷形と自然空冷形の2種類がある。前者は送風機を用いて空冷し、後者はクライストロンに放熱片をつけて空冷するので、放熱片も相当大きくなり、重量が増えるので前者を採用した。本装置では交流または直流いずれでも使用できなければならないので、本来ならば直流送風機を使用すべきであるが、ブラシを用いているため、寿命が短く映像信号に不規則な雑音が誘導し、実用上問題があるので、400 c/s用の送風機を使用し、DC-ACコンバータで400 c/sの矩形波を作り送風機の電源としたので、雑音もなく安定に動作した。周波数安定度はクライストロンのヒータ電源をトランジスタにて安定化しているため電源電圧±10%変化に対し±3×10⁻⁴以下で温度変化-10~+40°Cの範囲において±4×10⁻⁴以下である。

3.4 中間周波増幅器

中間周波増幅器は第3図に示すとおり、ヘッド部の中間周波前置増幅器と制御部の中間周波主増幅器から成る。中間周波増幅器の段間回路の設計は真空管の場合と同じ計算式を利用できるが、ただトランジスタと真空管との差は、周知のとおりトランジスタが双方向性を持っているため、前段と次段との間の影響が非常に大きいことである。この補償方法としては双方向性を単一方向化する中和法と、段間結合回路に適当な不整合を与える不整合法の二種類があるが、前者は回路定数の完全さが必要で狭帯域の場合には可能であるが、広帯域は回路定数が複雑になり実用上不可能である。後者はトランジスタのパラメータの違いから生ずる変化を最小にさせるもの



第6図 音端の温度による周波数変動

であるため、トランジスタの段間に、ダンピング抵抗をそう入することにより補償が可能である。以上のことより本機は後者を採用し、中間周波増幅器の周波数特性は帯域幅30 Mc(偏差±1 dB以内)を得た。

雑音指数はトランジスタ単体の場合下記の式で表わされる⁽⁵⁾。

$$F = 1 + \frac{r_b'}{R_g} + \frac{r_e}{2R_g} + \frac{(1-\alpha_0) \left[1 + \left(\frac{1}{\sqrt{1-\alpha_0 f_a}} \right) \right]}{2\alpha_0 r_e R_g} \times (R_g + r_b + r_e)^2 \dots\dots\dots (1)$$

ただしα₀は低周波における電流伝送率、f_aはα遮断周波数、r_b'は接合部よりベース出力端子までの導体抵抗、r_eはエミッタ接合部のインピーダンス、R_gは電源の内部インピーダンスである。

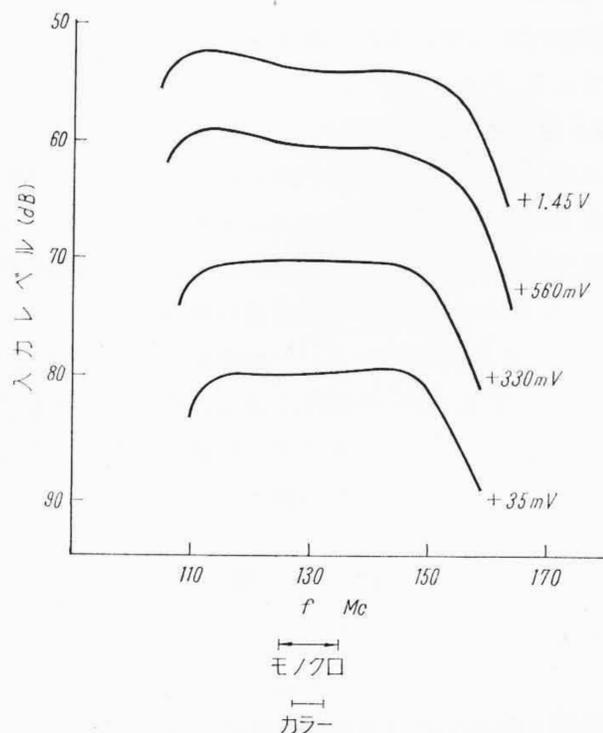
Fを最小にするようなトランジスタの条件としてはf_aが高く、α₀が大で、r_b'が小さいことである。したがって(1)式の条件に最も適した日立製作所製2SA290(HS-506)を使用し、中間周波増幅器単体で雑音指数6 dB以下、マイクロ波回路(ミキサ)を通して13.6 dBの値を得た。

中継を行う場合入力電界のフェーディングによる変化は1.2 mφのパラボラアンテナを用いて60 kmの伝播で0.35 dBのフェーディングとすると受信機入力電界の変化は約20 dBであり、パラボラを屋外にセットするため、風などによるビーム変動などで余裕10 dBをみると、AGC(自動利得制御 Automatic Gain Control)範囲は30 dB必要である。

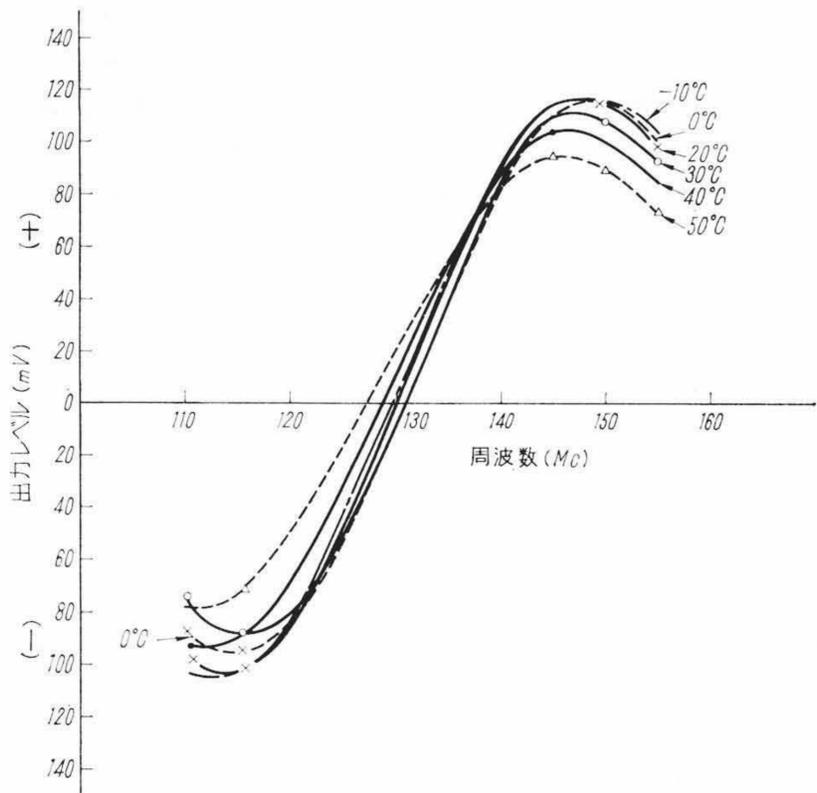
AGCには、トランジスタのベースまたは、エミッタの電圧を制御する方法があるが、広帯域中間周波増幅器においては、周波数振幅特性の変化が大きく、実用上問題があるので、中間周波増幅器のリミッタ前段で搬送波を検波し増幅後前置増幅器段間にそう入されているダイオード1S77の両端にその信号電圧を加え、インピーダンス変化をさせるAGC方式を採用した結果入力電界-50~-30 dBmで出力変差2 dB以下で設計仕様を満足する特性を得た。

第7図はMGC(手動利得制御 Manual Gain Control)電圧変化に対する周波数特性の変化を示す。

周波数弁別器は送受総合特性としてDG(微分利得 Differential Gain)を0.5 dBに入れるため、±10 Mcで5%以下、±5 Mcにて1%以下の特性を得る設計とした。なお、-10°C~+40°Cの温度範



第7図 中間周波増幅器の特性



第 8 図 映像弁別器の特性

囲で上記の特性を得るため、弁別器の前段平衡増幅器の 2 SA 290 のエミッタにサーミスタを入れ I_{co} の変化による温度補償を行なっている。その結果得られた特性は第 8 図に示すとおりである。

3.5 AFC 回路

AFC は電源電圧の変動および温度変化によって送信周波数および局部発振周波数の変化が生ずるので、自動的に周波数を制御するためのものである。

AFC はピーク値 AFC と平均値 AFC の二種類あるが、前者は送信のキャリアがなんらかの状態では停止した場合、雑音にて AFC がかかり、リペラ電圧が変化しクライストロンが発振停止する場合もあるので、キャリアが復元しても受信できない欠点があるが、後者は平均値のためそのような問題はなく、一度セットすると再調整の必要がない。また回路構成も前者のような AFC 用の弁別器を必要とせず、非常に簡単である。ただ後者の欠点はループ利得が前者より少ないが局部発振用クライストロン VA-220 C は周波数の変動がなく安定なため後者を採用し、受信電源電圧 $\pm 10\%$ 変化で安定度 $\pm 1 \times 10^{-4}$ 以下の良好な結果を得た。

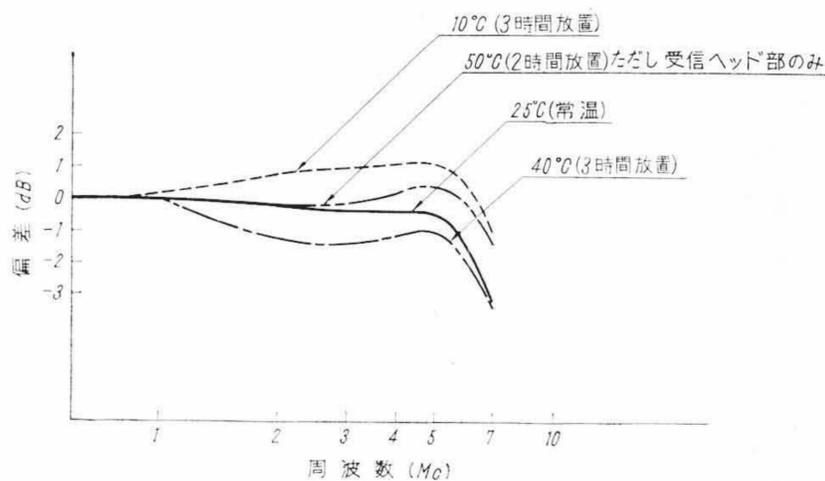
なお AFC 回路の直流増幅部は弁別器からの信号をトランジスタ チョップ HS 507 でチョッピングを行ない、交流増幅後位相検波して直流変換を行なっているため温度変化に対するドリフトがなく非常に安定である。

3.6 電源回路

クライストロンを動作させるための高圧電源用 DC-DC コンバータには従来 3 kc の周波数を用いたが、発振音が大きく、完全なスイッチング動作ができず、周波数が高いために信号回路に誘導し問題があったので、400 c/s を用いて発振音の軽減をはかるとともに完全矩形波整流による高能率のコンバータを開発し、直流出力 750 V、能率 80% 以上、容量 60 W の製作に成功した。なお本装置に使用したコアは磁束密度の大きいトロイダルを使用したため断面積が小さくでき、コンバータトランスが小形化された。

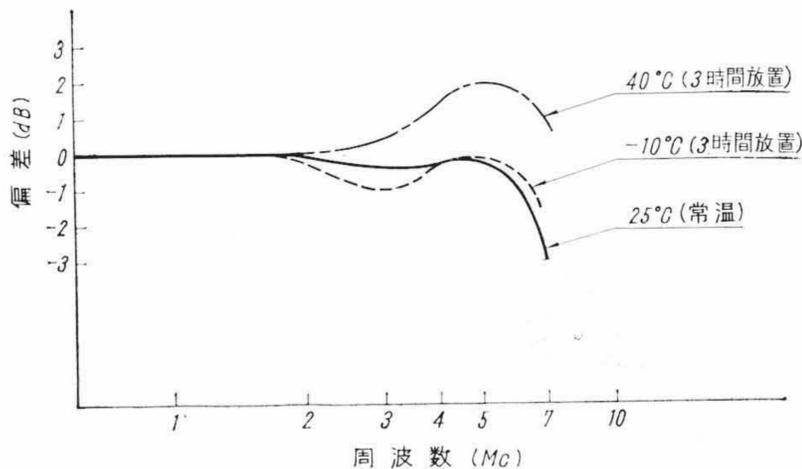
4. 総合特性

上述のとおり本装置は温度変化の大きい屋外で使用するためであるため特にトランジスタの最大欠陥である温度特性について十分考慮した結果第 9 図送受総合周波数特性に示すとおり $-10 \sim +40^\circ\text{C}$ の温度変化において $\pm 1\text{dB}$ の偏差を十分満足した。また受信ヘッド部

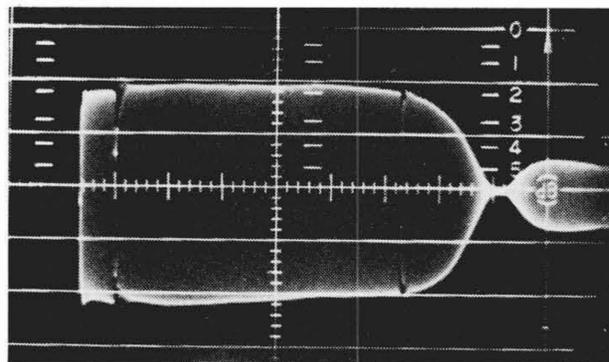


注：第 9, 10 図とともに 25°C にてセッティングのまま無調整送信総合特性はマイクロ波ディスクリを調整することにより $\pm 1.0\text{dB}$ 以下になる。
測定年月日 1962.5.22~23

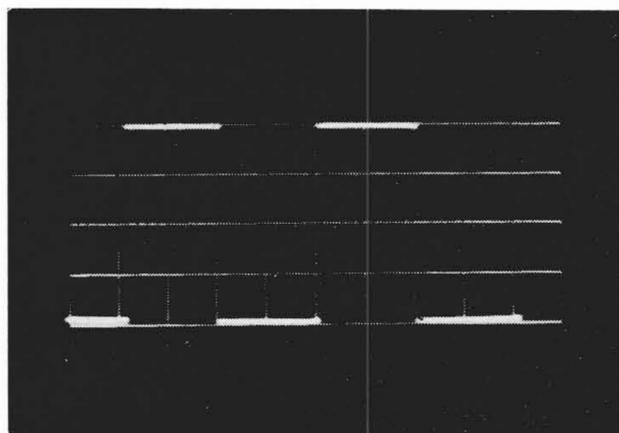
第 9 図 送受総合映像周波数特性



第 10 図 送信総合映像周波数特性



第 11 図 送受総合音声多重周波数特性



第 12 図 送受総合低周波パルス伝送特性 (60 c/s)

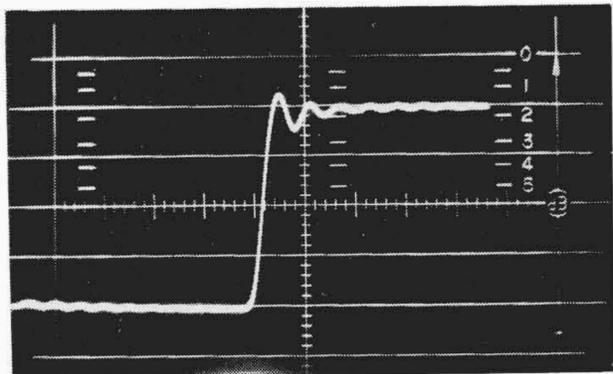
は屋外の鉄塔に常時放置されて、使用される例が多いため、 50°C までの試験をしたが特性その他に異常は認められなかった。

2.2 項に示した仕様特性についての詳細な測定結果は、第 11 図送受総合音声多重周波数特性のとおり 5 Mc で -0.5dB 、第 12 図送受総合低周波パルス伝送特性のとおり 60 c/s にて 2%、第 13 図送受総合音声多重高周波パルス伝送特性は、オーバシュート $+7\%$ 、 -10% であり、当初予定した設計仕様を満足した。

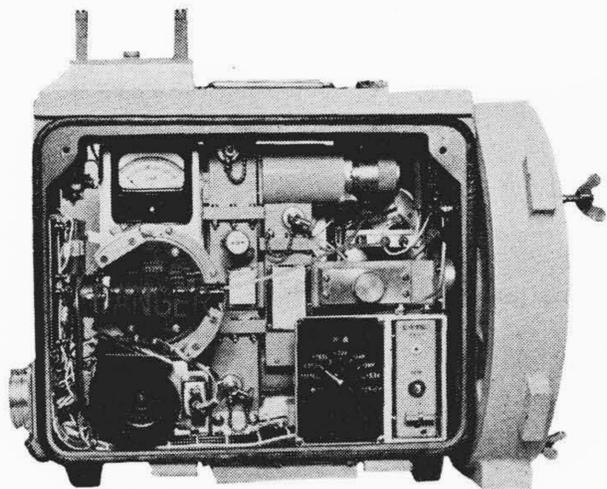
5. 構造

5.1 外観, 構造

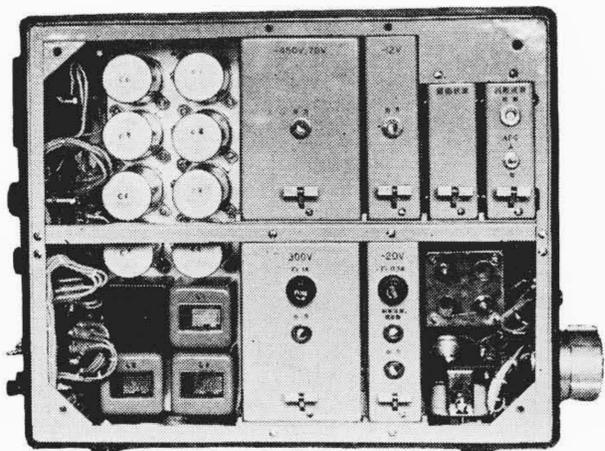
第14~17図に外観および構造を示す。本装置は整流電源部以外はプラグイン構造となっており、電源部、制御部など発熱体を収容するケースはよろい戸式の側板を使用し、温度上昇を最小限度におさえてある。また制御部と整流電源部とは別きょう体にし、ヘリコプタ、船、山岳部からの中継のように電池を使用するときはヘッド



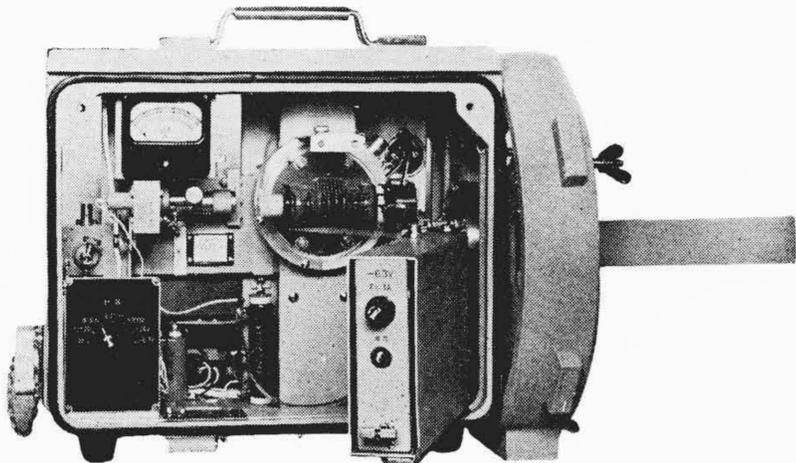
第13図 送受総合音声多重高周波パルス伝送特性 (100 kc)



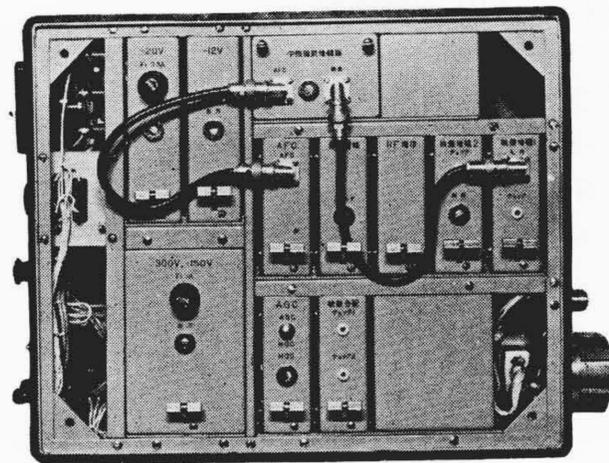
第14図 送信ヘッド部



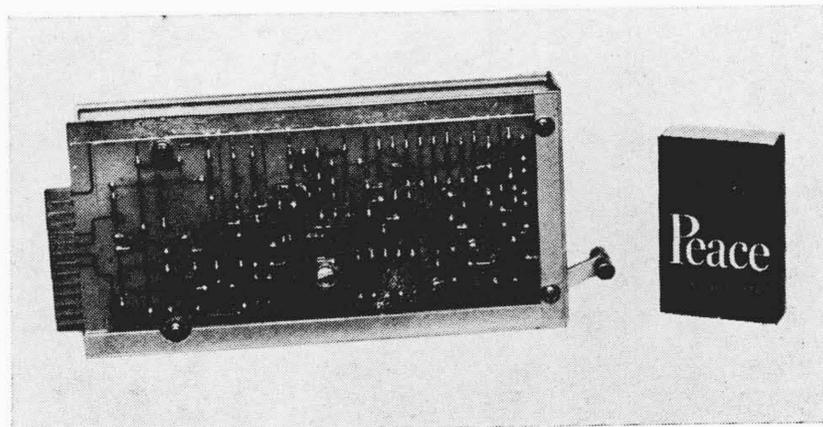
第15図 送信制御部



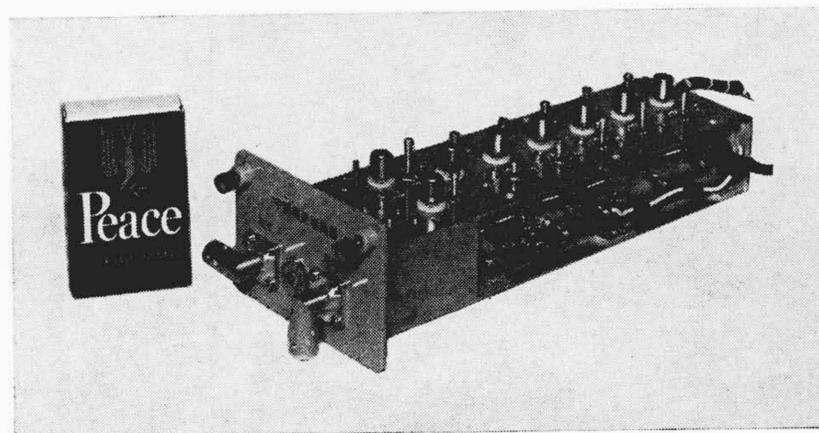
第16図 受信ヘッド部



第17図 受信制御部



第18図 のこぎり波ユニット外観図



第19図 中間周波増幅器

部と制御部のみにて動作するようになっているので、持運びが非常に容易である。各部にはショックマウントを付属しているため、中継車などに搭載し過酷な運搬にも十分耐えることができる。

5.2 保守, 点検

本装置は保守, 点検に特に留意し, 下記のような考慮が払われている。

- (1) すべてユニット構造になっているため、予備ユニットを持つことにより簡単に保守ができる(第18図に一例を示す)。
- (2) 映像増幅ユニットなどにはチェックポイントを出してあるため、簡単に点検が可能である。
- (3) 制御部のメータで各部電圧, 電流チェックができるようになっている。

6. 特長

本装置の特長を述べる。

- (1) 交流 100V および直流 -24V にて働き, 消費電力も従来の真空管式に比較し約 $\frac{1}{2}$ であるため, 電源設備のない, たとえば山岳部, 船およびヘリコプターなどからの中継に最も適している。
- (2) 全重量は真空管式に比較し約 $\frac{1}{2}$ で小形, 軽量のため運搬お

よび装着が容易である。

(3) 音声端局はプリント板ユニットとして、送受信制御部に内蔵されているので、音声多重のときにも切換スイッチの操作のみで簡単に行なうことができる。

(4) 冷却用ブロワは400 c/s コンバータにて駆動するため、ブラシ雑音は皆無であり寿命も長い。

(5) 高圧コンバータはトロイダルコアを用いているため、鉄心による発振音が出ず漏えい磁束などによる障害も少ない。

(6) 送信制御部にはのこぎり波発生ユニットが内蔵されておりまた送信ヘッド部には空洞周波数計が付属しているので周波数偏移、中心周波数の測定が容易である。

(7) 送信監視用周波数弁別器は空洞共振器の通過波と反射波の検波出力を加え合せた方式を採用しているので一空洞で約2倍の振幅を得ることができ、またクライストロンは振幅特性およびクリスタルの非直線性を互に打消す方向に働くので直線性がすぐれている。

(8) 送信ヘッド部にラジェーションコントロールが付属しているので初期調整中に他局への妨害をなくすることができる。

(9) 中間周波増幅器は真空管に比べてノイズフィギヤが良く、13~14 dBで1~2 dB向上している。

(10) 中間周波数は130 Mcを使用しているため、TVあるいはFM放送などVHF帯の妨害を受けることが少ない。

(11) ヘッド部と制御部間ケーブルは18心を用いているので、従来の24心と比較し、取り扱いが容易である。

(12) 送信ヘッド部内にケーブル補償回路があるので、150 mまで周波数特性を補償できる。受信側は中間周波数にて制御部まで降ろしているため、ケーブル長による周波数特性の変化はなく、

使用範囲(ケーブル長最大60 m)では十分リミッタが動作するように設計されている。なお60 m以上のケーブルを使用する場合には、別系統より損失の少ない10C2Vなどを用いて最大150 mまで延長することができる。

7. 結 言

上述のごとく、7,000 Mc可搬形1 Wトランジスタ式テレビジョン中継装置の開発により、クライストロンを除く全装置のトランジスタ化、消費電力(従来のテレビジョン中継装置の約5分の1)の減少、保守の軽便など多くの利点を有する中継装置を完成した。

トランジスタ式テレビジョン中継装置の今後の課題としては、導波管の小形軽量化および送信管としてクライストロンの代りに半導体を使用した超小形中継装置の開発が期待される。なお7,000 Mc中継装置のほか11,000 Mcおよび13,000 Mc FPUについてもクライストロンおよび導波管などが異なるのみであるので製作可能である。

本装置を製作するにあたり種々ご指導を賜った日立製作所中央研究所関口主任研究員を始め、関係各位ならびに日立製作所および昭和電子株式会社の関係各位に深甚なる謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) 関口： テレビジョン学会 予稿(昭35-11)
- (2) Schwarz: Selected Semiconductor Circuits Handbook (1960)
- (3) 川上： 電子管回路 V (昭34-共立全書)
- (4) Valley and Wallman: Vacuum Tube Amplifiers, MIT (1957)
- (5) Van der Ziel: Noise in Junction Transistor, P. I. R. E., 46, No. 11, p. 1019~1038 (1958)