

マイクロ波可搬型テレビジョン中継装置の改良

Improvement of the TV Field Pick-up System

関口 存哉* 安藤 文雄* 宇佐美 襄* 後藤 公雄*
Ikuya Sekiguchi Fumio Ando Noboru Usami Kimio Goto

内 容 梗 概

先にマイクロ波による可搬型テレビジョン中継装置を試作しその結果を報告したが今回その経験にもとづき新しく実用装置を製作したので特に改良した点について報告する。前回の試作において十分な性能が得られたので今回の製作にあたっては実用上保守取扱いの容易なることに主眼をおいて設計した。送信装置には出力変調波形監視回路を設けて常時出力および変調の有無を監視し得るようにしたほか受信装置では局部発振器用に波長計を設けて周波数の監視と発振管取換えの際の周波数調整を簡単に行えるようにした。またそのほか各部の構造を改良して保守上の便宜を計った。

これらの改良を行つた結果は予期の通り良好であり、現在実用されているが安定に動作している。

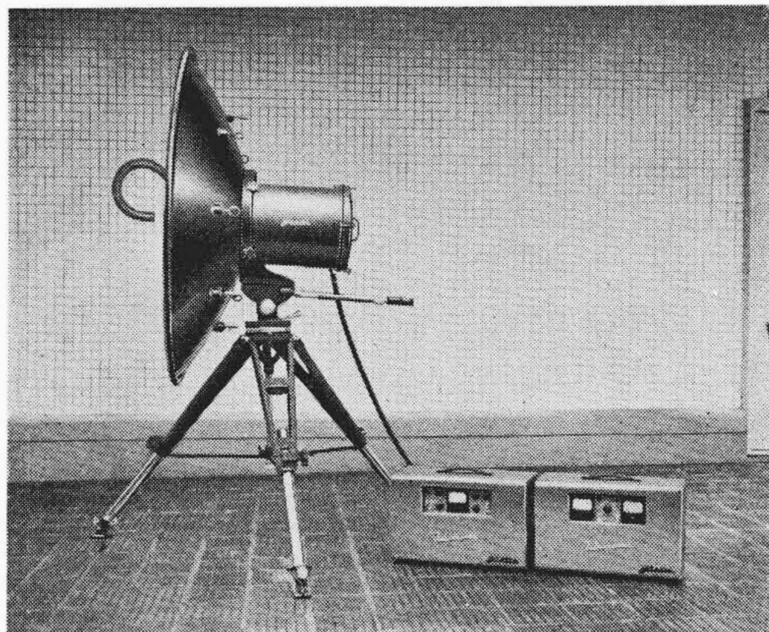
〔I〕 緒 言

テレビジョンの放送局においては劇場または野外で撮影した画の信号を放送局に伝送することが必要となるが撮影を行う地点が常に変ることが多いので無線による伝送が行われる。テレビジョンの信号を無線で伝送するためには音声信号などに比較してはるかに広い伝送周波数帯域を必要とするのでマイクロ波の中継装置を用いることがすべての面で有利である。またマイクロ波では小型の空中線で大きな利得を得ることができるために送信電力が少なくて済み装置が小型軽量となるので可搬型にすることができる。また空中線の指向性が鋭くなるので建物そのほかの不要反射波または妨害波の影響を受けにくくなる利点もある。以上の理由により現在各放送局ともマイクロ波の中継装置を用いている。

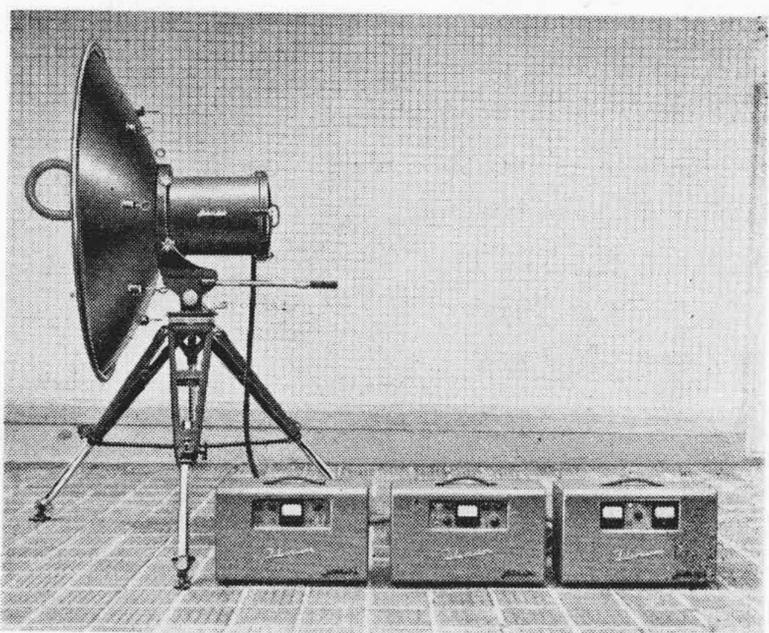
このような装置に要求される特性としては勿論テレビジョンの信号を歪なく伝送しうること、雑音の少いことなどが必要であるが、それとともに構造上取扱いの容易なこと、軽量であること、保守点検の容易であること、耐震、耐雨であることなどが重要な事項となる。特に送信部は随時自動車により目的地に運搬し、組立て調整を短時間に行う必要の生ずることが多く空中線部はたとえば鉄塔上、ビルディングの屋上などに設置し方向合せを行い放送終了後撤去するということを繰返すので特に取扱いが容易であることが望まれる。

日立製作所中央研究所では数年前よりマイクロ波のテレビジョン中継装置の研究を行つており先に 7,000 Mc 帯で可搬型中継装置を試作し良好な特性を得ることができた。⁽¹⁾ その後同種の装置を製作する機会を得たので特に前記の保守の容易ということに主眼をおいて設計した。そのため送信装置に出力変調波形監視回路を設け、受信装置に局発用の波長計を設けたほか各部の構造を若干改良した。また音声送受端局は送受制御部と同一の可搬型ケースに収めて統一をはかった。

* 日立製作所中央研究所



第1図 送信装置外観
左より送信高周波部、送信制御部、送信音声端局



第2図 受信装置外観
左より受信高周波部、受信電源部、受信制御部、受信音声端局

なお前回の報告⁽¹⁾で装置の原理的な説明を詳しく行つたので今回は装置の概要について簡単に説明し主として改良した点について報告することとする。

〔II〕 装置の概要

本装置は送信装置と受信装置とに分れるが送信装置は

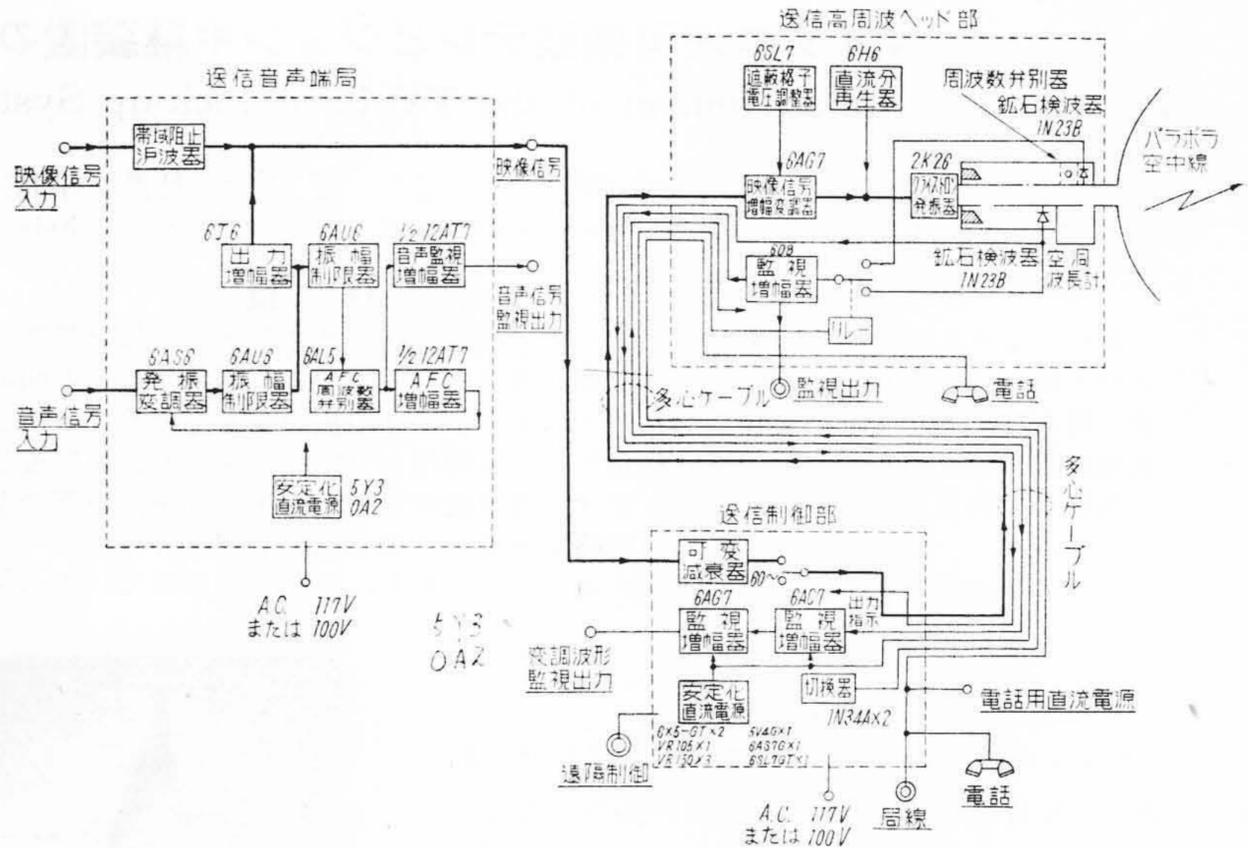
さらに送信音声端局，送信制御部，送信高周波部より成っており，受信装置は受信音声端局，受信制御部，受信電源部，受信高周波部より成っている。第1図および第2図に今回製作した装置の外観を示す。送受信装置とも高周波部以外は可搬型ケースに収めてあり，おのおの標準鉄架に取付けることも可能である。送受高周波部は図のようにパラボラ空中線の後にある円筒状ケースの中に収めてある。また空中線は雲台，三脚上に支えられており雲台の回転により簡単に方向合せを行うことができる。

第3図，第4図に送受信装置の系統図を示す。送信装置において送信管はクライストロン2K26を使用し，周波数変調方式を用いている。送信装置の出力，周波数は制御部において監視しうることになっており，また出力の一部を簡単な周波数弁別器によつて検波し変調の監視も行えるよう

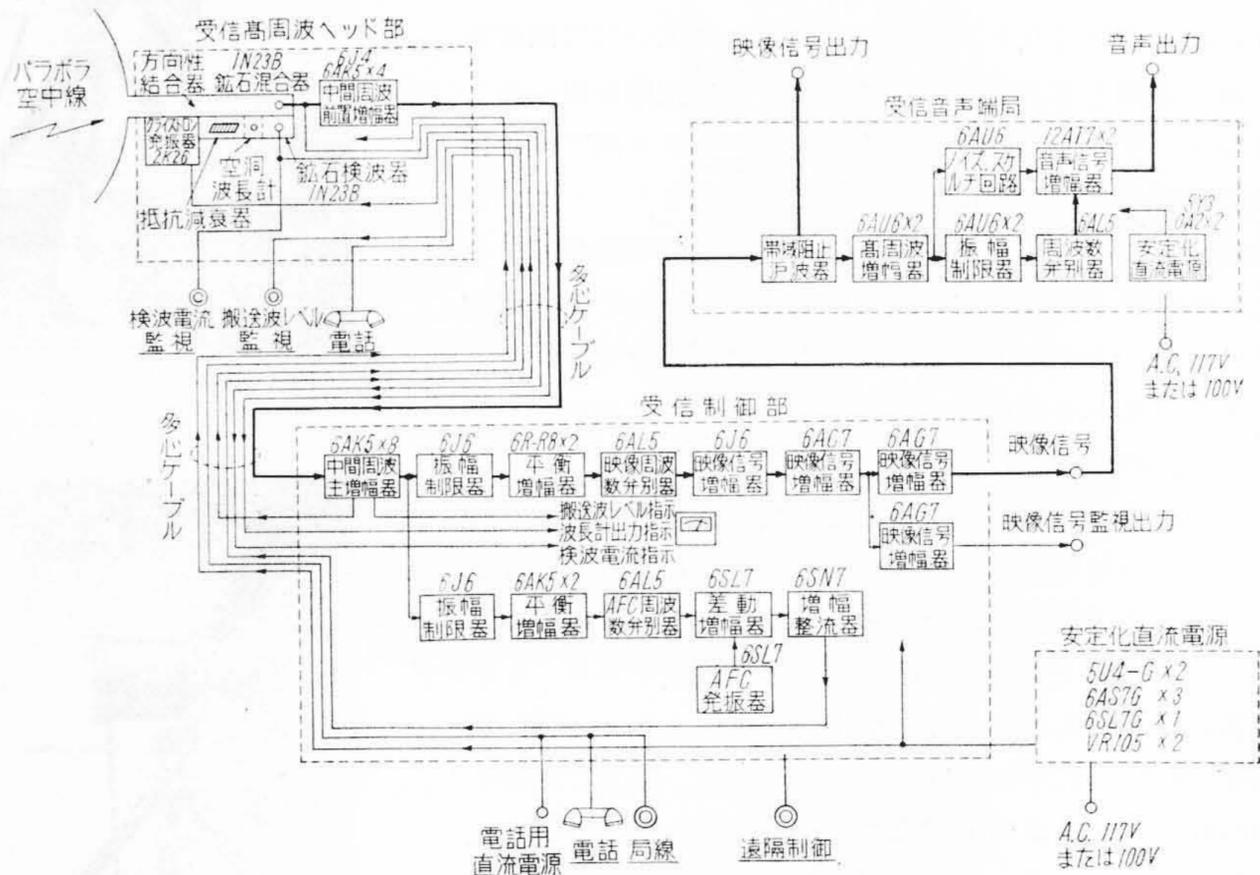
になっている。また高周波部の制御調整のほとんどすべてを制御部で行うことができる。高周波部と制御部の間は24芯のケーブルで接続している。

受信装置ではクライストロン2K26を局部発振器としてヘテロダイン検波を行い中間周波数(129Mc)に変換し増幅検波して原信号を得ている。また中間周波の周波数の変化に対応して局部発振器の発振周波数を制御して追従式の自動周波数制御を行つている。送信装置と同様に高周波部の制御調整はほとんど制御部で行えるようになっている。

音声回線は送信音声端局において入力映像信号の内5



第3図 送信装置系統図



第4図 受信装置系統図

Mc 附近の成分を除去してその後に入力音声信号により周波数変調した5Mcの音声副搬送波を挿入している。受信音声端局では音声副搬送波のみを取出し周波数弁別して音声信号を復調している。

本装置の仕様をつぎに示す。

送信装置

- 周波数 6,570~7,125 Mc
- 送信出力 80 mW 以上
- 変調方式 周波数変調
- 最大周波数偏移 ± 5 Mc
- 空中線利得 36 db(直径 1.2 m)

映像信号入力電圧 1.4 V p-p
 映像信号入力インピーダンス 75 Ω
 変調波形監視出力 1.4 V p-p
 変調波形監視出力インピーダンス 75 Ω

受信装置

受信周波数 6,570~7,125 Mc
 最低受信入力レベル -60 dbm
 中間周波中心周波数 129 Mc
 中間周波帯域幅 ±10 Mc
 映像信号出力電圧 1.4 V p-p
 映像信号監視出力電圧 1.4 V p-p
 映像信号各出力インピーダンス 75 Ω
 自動周波数制御特性 hold in ±15 Mc 以上
 pull in ± 8 Mc 以上

送受音声端局

音声副搬送波周波数 5 Mc
 変調方式 周波数変調
 最大周波数偏移 ±40 kc
 送信音声信号入力レベル -6 dbm~+10dbm
 送信音声信号入力インピーダンス 150 Ω, 300 Ω
 600 Ω 平衡, 50 Ω 不平衡
 送信音声副搬送波出力レベル 最大 0.5V p-p
 受信音声信号出力レベル +18 dbm
 受信音声信号出力インピーダンス 150 Ω, 300 Ω,
 600 Ω 平衡, 50 Ω 不平衡
 総合音声周波数特性 30 c/s~12.5 kc 偏差 3 db
 総合音声端局歪率 -40 db 以下
 総合音声端局信号対雑音比 55 db 以上

送受信装置総合特性

総合映像周波数特性 20 c/s~5 Mc 偏差 1 db
 入出力直線性 全振幅の平均傾斜に対して傾斜の偏差±10%以下
 低周波過渡特性 60 c/s 矩形波入力に対し出力の下り 6%以内
 高周波過渡特性 立上り 0.05 μs の入力パルスに対して立上り時間 0.1 μs 以内。
 又リップルは次表の通り。
 50%立上りよりの時間 リップル
 0.2~0.4 μs ±4% 以下
 0.4 μs 以上 ±1% 以下
 信号対雑音比 受信機入力-40 dbm, 映像信号帯域幅 5 Mc のとき 55 db $\frac{P-P}{srm}$ 以上

〔III〕装置の改良

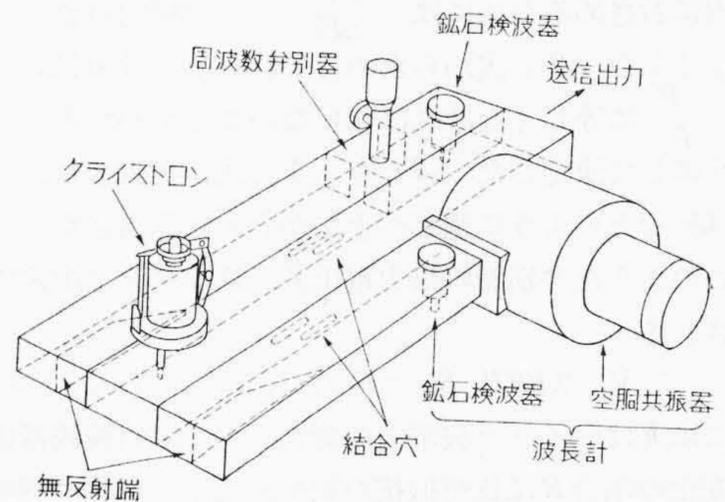
(1) 送信変調波形監視回路

前回の試作装置では送信装置の出力回路に出力監視用

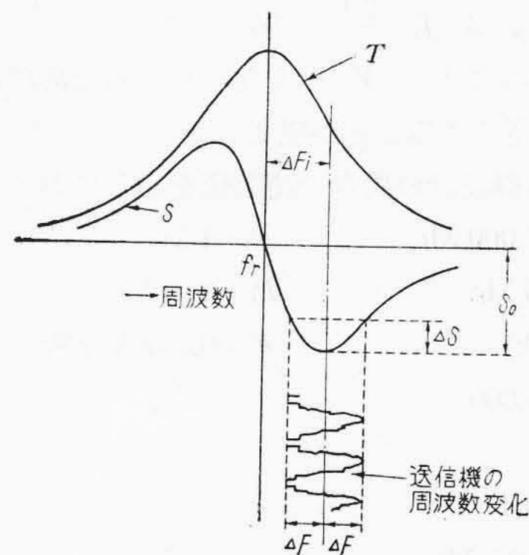
の検波器回路と周波数調整用の標準空洞を設けたが、今回はこのほかに変調が正しく行われているかどうかを確認することができるように簡単な周波数弁別器を設けることにした。

すなわち第5図に示すようにクライストロンの発振出力を空中線に送出する主導波管とこれに沿う2個の副導波管を配置し各副導波管に以上の各調整回路を設けてある。主導波管と副導波管の結合は方向性結合器によつており、十分に広帯域な結合が得られているほか周波数弁別器などの反射波はすべて無反射端に吸収されるようになっている。

監視回路としては装置を小型にするため第5図に示したように単一の空洞共振器をマイクロ波の周波数弁別器として用いる簡単なものを採用した。図の空洞共振器の共振周波数を送信中心周波数に対してわずかに離調させておけば映像信号による送信周波数の変化に応じて鉱石検波器に加わるマイクロ波電力が変化し検波器に付けた負荷抵抗の両端に映像信号電圧が復元される。このように空洞共振器を用いて周波数弁別を行う場合に弁別の直線性を良好ならしめるためには空洞のQと上に述べた離調度を適当な値に選ばなければならない。つぎにこれらの設計法について述べよう。



第5図 送信装置立体回路



第6図 周波数弁別器の通過電力およびその微分特性

いま鉍石検波器の整流電流がこれに加えられたマイクロ波電力に比例し、かつ検波器が導波管に対して完全に整合しているものとすれば送信周波数の微小変化によつて生ずる弁別出力は空胴共振器の電力透過率曲線 T (いわゆる Q カーブ) の傾斜 S ($= \frac{\partial T}{\partial f}$) に比例する。したがつて弁別器の直線性をよくし、かつ弁別出力を大ならしめるには第 6 図に示したごとく送信機を中心周波数を $|S|$ の最大となる点、換言すれば T 曲線の変曲点に位置せしめかつ最大周波数偏移 $\pm \Delta F$ の範囲内での $|S|$ の偏差の割合 $\frac{\Delta S}{|S_0|}$ が規定値以下となるように空胴の Q_l (負荷時の Q) を選定する。ここで空胴の共振周波数を f_r としこれと T 曲線の変曲点に対応する周波数の差を ΔF_i とすれば ΔF_i は次式で表わされる。

$$\Delta F_i = \frac{f_r}{2\sqrt{3} Q_l} \dots\dots\dots (1)$$

また変曲点から δF だけ離れた周波数における $|S|$ は次式から求められる。

$$|S| = \frac{4}{\sqrt{3}} \frac{Q_l}{f_r} \left(1 - \frac{Q_l}{Q_u}\right)^2 \frac{\left|1 + \frac{\delta F}{\Delta F_i}\right|}{\left[1 + \frac{1}{3} \left(1 + \frac{\delta F}{\Delta F_i}\right)^2\right]^2} \dots\dots\dots (2)$$

ここに Q_u は空胴の無負荷時の Q である。 $\frac{\Delta S}{|S_0|}$ を規定値内におさめるためには $\frac{\delta F}{\Delta F_i}$ をどの程度の値までとりうるかを (2) 式から求めてこれを p とすれば、 ΔF_i は $\frac{\delta F}{p}$ に等しくなければならないことがわかる。このようにして決定した ΔF_i を (1) 式に代入すれば空胴の Q_l をどのように選ぶべきかが直ちに算出される。

このような弁別器の出力電圧 V (D.A.P.) は次式で表わされる。

$$V = 2kRP_i |S_0| \Delta F \dots\dots\dots (3)$$

ここに k はマイクロ波電力の変化による鉍石検波器電流の変化の割合 R は負荷抵抗の抵抗値であり、 P_i は空胴共振器への入射電力である。また $|S_0|$ は次式で求められる。

$$|S_0| = \frac{9}{4\sqrt{3}} \frac{Q_l}{f_r} \left(1 - \frac{Q_l}{Q_u}\right)^2 \dots\dots\dots (4)$$

上式からあきらかなごとく V を大ならしめるためには Q_u をできる限り高くすることが望ましい。

つぎにこの送信機設計の場合の諸数値を示しておく。

- $f_r = 7,000 \text{ Mc}$ $R = 1 \text{ k}\Omega$
- $\Delta F = 5 \text{ Mc}$ $P_i = 2 \text{ mW}$
- $\frac{\Delta S}{|S_0|} = 0.1$ $k = 0.2 \text{ mA/mW}$
- $Q_u = 5,000$

このとき

- $p = 0.4$
- $\Delta F_i = 12.5 \text{ Mc}$

- $Q_l = 160$
- $|S_0| = 0.028/\text{Mc}$
- $V = 0.113 \text{ V}$

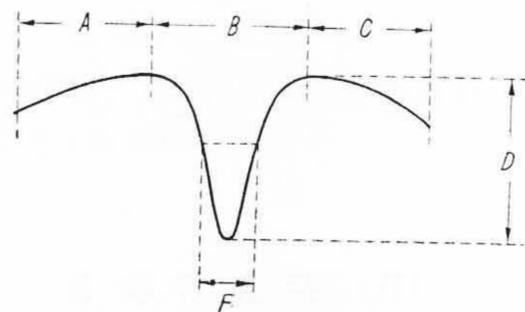
弁別器の出力は広帯域増幅器によつて増幅し制御部に送り制御部でさらに増幅している。高周波ヘッド部ではこのほかに後述の周波数調整のための増幅器を必要とするが前者と同一の増幅器を共用とし、入力をリレーで切換えられるようにした。リレーは制御部で制御することができる。周波数調整と変調波形監視とを同時に行うことは無いので増幅器を共用することは何等差支えない。

なお制御部において監視増幅器の出力を外部に接続する際負荷が終端されていない場合も有り得ることを考えて 75Ω の終端抵抗を自蔵しスイッチで挿入できるようにした。また検波した映像信号より音声副搬送波成分を除きうるように 5 Mc のトラップを設けてある。

(2) 出力監視, 周波数調整回路

前の試作装置では出力監視と周波数調整のための検波回路を別に設けたが、今回はこれを同一の検波回路で行えるようにした。すなわち第 5 図のようにクライストロンの出力の一部を方向性結合器によつて副導波管に導き検波器回路に吸収せしめる。検波器の後方に $1/4 \lambda g$ ($\lambda g =$ 管内波長) のところに標準空胴共振器が結合されている。検波器の出力の内直流分を制御部に導き計器に指示せしめて出力監視用としている。また周波数調整の場合の交流分は増幅して制御部に送り外部のオシロスコープにより指示できるようにしている。共振器の共振による検波電流の変化は後述のように比較的鋭くまた僅かであるため出力監視には何等差支えない。

上に述べたようないわゆる反作用型周波数計においては送信周波数が空胴の共振周波数にほぼ一致したとき鉍石検波器の整流電流が急激に減少する。実際の周波数調整に当つてはクライストロンに規定周波数偏移の正弦波変調を加えておき上記オシロスコープ上の波形が第 7 図のごとくなるようにクライストロンの空胴とリペラ電圧を調節する。検波器回路は広帯域化してあるのでオシロスコープ上の波形はクライストロンの出力に比例した山形の波形とこれに共振器による落ち込みの重畳した形で現れる。図の波形において A および C の部分は変調に伴



第 7 図 周波数調整におけるオシロスコープ面上の波形

うクライストロンの出力の変化の模様を表わしBの部分の落ち込みは送信周波数が空洞の共振周波数に一致した瞬間を示している。この落ち込みの幅Fおよび深さDは空洞の Q_i によつて変化する。 Q_i があまり低いとDは大きいがFが広くなつて上の調整操作が行いにくく、反対に Q_i が高すぎると落ち込みが鋭くなる代りにDが小さくなりこれまた不便である。今回の装置では前の試作装置を用いて実際に調整操作を行つて見た結果に従い Q_i の値を約12,000とすることにした。

この周波数調整回路は送信機の周波数標準となるものでありしたがつて確度の高いことが要求される。一般にこのような回路の確度に影響する要因としては温度、湿度、機械的精度のほか使用する鉱石のマイクロ波インピーダンスがある。つぎに鉱石インピーダンスの変化による共振周波数変化について少しく説明しよう。

今標準空洞の共振周波数を f_0 とし、これに鉱石検波器をつけた第5図の波長計全体の見掛の共振周波数(検波器電流を最小ならしめる周波数)との差を Δf とすれば次式が成立する。

$$Q_u \frac{\Delta f}{f_0} = \frac{|(2+2g+\beta) - \sqrt{(2+2g+\beta)^2 + 4b^2}|}{4b} \dots\dots\dots(5)$$

g : 鉱石検波器のマイクロ波に対する相対コンダクタンス

b : 鉱石検波器のマイクロ波に対する相対サセプタンス

$$\beta = \frac{Q_u}{Q_i} - 1$$

ここに用いる回路では上の g, b をそれぞれ1および0に近くならしめるようにしてありこの理想的な状況下では $\Delta f = 0$ となるがこれらは鉱石検波器によつてかなりの範囲にわたつて変化するものと考えなければならない。

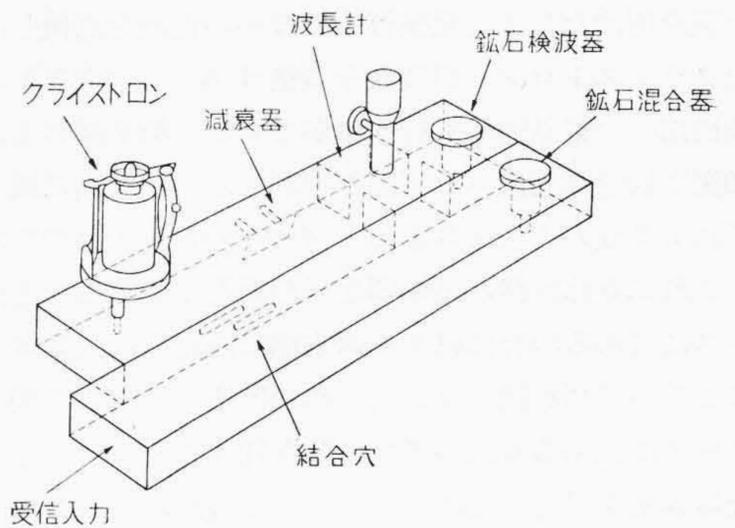
上式を検討すると $Q_u \frac{\Delta f}{f_0}$ は

$$\frac{2b}{2+2g+\beta} \rightarrow \pm \infty$$

のとき最大値をとり $1/2$ となる。したがつて Q_u の値を高くとつて Δf を十分小ならしめることができる。今回の装置では Q_u を約22,000ならしめてあるので鉱石インピーダンスがいかに変化しても Δf の値は160kc程となる。

(3) 受信局部発振回路

前の試作装置では局部発振器の出力を鉱石混合器に結合するために空中線と鉱石混合器との間の導波管に発振管の出力端子を僅かに突出させるという構造にした。これは立体回路としては簡単になる利点があるが通常のク



第8図 受信装置立体回路

ライストロンマウント(たとえば送信装置)で動作させるときにくらべて変調感度が下りAFCループの利得が下ること、結合度が周波数特性を持ちやすいこと、局部発振波の空中線側への漏洩が多いことなどの欠点があるので、今回は第8図のように方向性結合器を用いることにした。このため以上の欠点がすべて改善された他以下に述べる波長計を備えることが可能になつた。

第8図に示すように局部発振器回路に簡単な波長計を入れて周波数を測定できるようにした。波長計の監視出力は制御部に送り計器で監視することができる。波長計を備えているとクライストロンの交換の際に便利でありまた必要に応じて発振周波数を確認できるのですべての点で有利である。

受信装置では追従式のAFCを行つているので局部発振周波数は精密に合せる必要は無く、したがつて波長計も高 Q であることを必要としない。むしろ監視という点からは若干低 Q である方がよい。したがつて波長計の Q の選び方としては波長計の指示が出ていれば局部発振周波数が十分受信可能な範囲にあるという事を目標として半値幅を7Mc, $Q = 1,000$ とした。

なお送信装置と同様に受信装置の立体回路はすべて広帯域化してあり周波数の変更により波長計以外は回路を再調整する必要が無い。

(4) 中間周波増幅器

中間周波の中心周波数は129Mcとした。今回は増幅段数を増して帯域特性を良好にしたほか各部に試験端子を設けて保守を便利にした。

(5) 送受音声端局

送受音声端局は送受制御部と同一の可搬型ケースに収めた。また受信音声端局にはノイズスケルチ回路、出力監視回路、VUメータなどを設けたほかは試作装置と同様である。

(6) 構造上の改良

送受高周波ヘッド部は円筒ケースの中に収められており後の蓋を開けて外部に引出し点検することができる。

また蓋を開けただけで発振管そのほかの電流を点検し、またクライストロンの周波数を調整することができる。他制御部との電話連絡も行う事ができる。第9図および第10図に送受高周波ヘッド部の写真を示す。写真の通りいずれも2枚の円板と3本のパイプが骨格となっており、これに立体回路、増幅器などが取付けてある。円筒ケースに収める場合にはケース内部に固定された3本の棒にこのパイプを通しネジでしめつける。従来この型ではケースに収める際にパイプに棒を通すことが手探ぐりにならざるを得ないため中心が合わず入れにくいことが構造上の大きな欠点になっていたが本装置ではパイプの先を漏斗状に拡げることによりこの欠点を解消した。

そのほかクライストロン、鉱石検波器などの交換を迅速容易にしうよう若干の改良を行つてあり、たとえば鉱石検波器を抜き取る際には附属のレバーを押すと浮き上がるようになっている。

(7) その他

クライストロンはまれに空胴電極と陰極とが一時的な短絡を生じ直ぐ回復することがあるがこのような場合ヒューズが切れてもヒューズを入れ換えるとそのまま正常に動作することが多い。それで空胴電極の電源回路にヒューズとスイッチを2個並列に入れておき、一方のヒューズが切れた時は直ちにほかのヒューズに切換えることができるようにした。

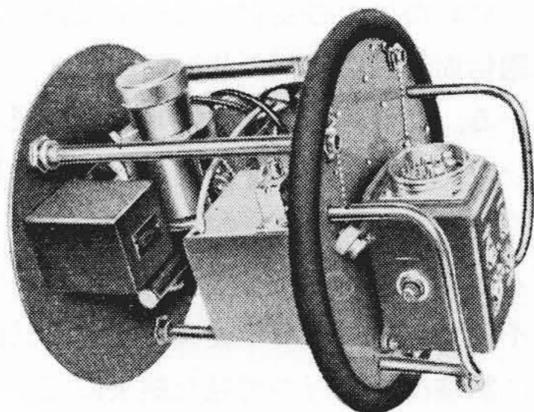
〔VI〕 結 果

以上に述べたように本装置は前回の試作の経験に基づき諸種の改良を行つた。送信側には変調波形監視回路を設けた結果送信側での保守が容易になり、常時出力および変調の有無を監視できるようになった。また受信側では局部発振器用に簡易波長計を設けたのでクライストロンの取換えの際の周波数の調整が容易となり、かつ常時必要に応じて周波数を監視することができる。またこれらの回路の設計に当つては前回の試作経験を基として数値的検討を十分に行つた。

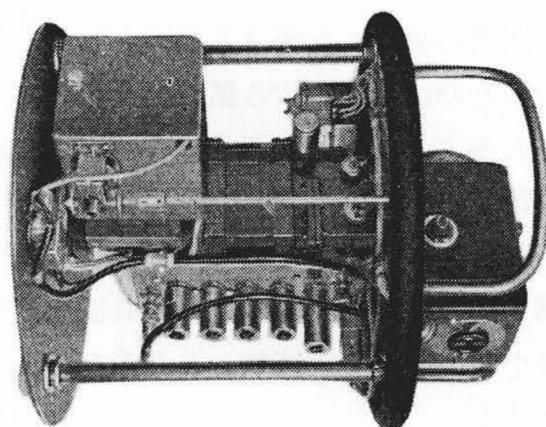
そのほか構造上部分的に改良を行い保守が容易になるようにした。これらの改良は些細なものであるが本装置は可搬型であり常に移動分解組立てを行うものであるため保守の難易は性能と同様に重要である。なおこれらの改良によりこの型の機器としては大体完成されたものとする。

〔IV〕 結 言

以上述べたように可搬型テレビジョン中継装置の改良を行いほぼ予期の目的を達することができた。本装置は日本テレビ放送網株式会社に納入し実用に供せられている。日立製作所中央研究所においては引続いてこの種中



第9図 送信高周波ヘッド部



第10図 受信高周波ヘッド部

継装置の研究を行つており、さらに性能の向上を期している。

終りに臨み製作に際して色々と貴重な意見を寄せられた日本テレビ技術局の吉川部長を始め白倉、栗田、鈴木の各氏に厚く御礼申し上げます。また製作に御協力して頂いた日立製作所本社通信機部、戸塚工場松井氏、加賀美氏、昭和電子荷口氏ほか各位、所内で御指導を受けた浜田副所長、高田主任研究員に深く感謝するとともに協同で研究された成田、芳根、相田、本田、の諸君に感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 関口、安藤、宇佐美、後藤：日立評論 38, 605 (昭31-4)

視界を拡大する

日立

工業用テレビジョン装置

電話機・交換機

日立製作所