

FM-FM 方式によるマイクロ波簡易多重通信装置

長 浜 良 三* 松 井 伸 崇** 朝 比 奈 隆***

FM-FM Simplified Multi-Channel Micro-Wave Communication Equipment

By Ryōzō Nagahama, Nobutaka Matsui and Takashi Asahina
Totsuka Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

Electric communication techniques in our country have made remarkable progress after the War, and outstanding results have been obtained in various fields. One of the important achievements is the production of the multi-channel micro-wave communication equipment.

The production of the UXF-011 type and the UXF-012 type for the local line has already been announced by Hitachi, Ltd. The recently completed UXFS-014 type is an improved FM-FM simplified multi-channel micro-wave communication equipment which combines the merits of the aforementioned two types.

In comparison with the SS-FM and the AM-FM, the FM-FM does not require transmission characteristics of such high degree. Therefore, its adjustment and maintenance are not only easy, but it also has a greater S/N gain. It can safely be said that it is the most superior product for multi-channel micro-wave communication having comparatively less number of channels.

The equipment has a common reflex klystron 2K26 for the micro-wave transmitting tube and the micro-wave local oscillating tube. Transmitting frequencies can be kept constant within the degree of 4×10^{-10} by inserting the klystron in a constant temperature tank, using the constant voltage power source, and by applying automatic frequency control at the station on one side.

The enlargement of the separation of the sub-carrier frequencies and the use of new magnetic material have made it possible to use smaller filters. And with the use of mT tubes and M.P. condensers, the equipment has become compact and small, while both the micro-wave transmitter and the terminal equipment can be accommodated in one cabinet.

〔I〕 緒 言

戦後我国の電気通信技術はめざましい進歩をとげ各方面で大きな成果を挙げつつあるが、その一つにマイクロ波多重通信装置がある。マイクロ波多重通信装置はその建設ならびに保守の経済性と高い信頼度により有線通信にとって替らん勢を示している。

このマイクロ波多重回線を建設する場合には、その目的、通信路数、回線の品質、信頼度、地理的条件、建設ならびに保守上の問題などの見地から使用周波数帯、変

調方式、機器の構造、マイクロ波用真空管の種類、中継方式などを決定しなければならない。

日立製作所においてはすでに1本のクライストロンを送信、局発に共用した簡易型式による3通話路以下の局地回線用マイクロ波通信装置として、特に輻射系において有利な6,000 Mc帯を使用するUXF-011型、UXF-012型を発表している⁽¹⁾⁽²⁾。最近完成したUXFS-014型はこれらの特長を生かしさらに改良を加えた6,000 Mc帯FM-FM方式多重通信装置で、すぐれた特性を有している。

* ** *** 日立製作所戸塚工場

〔II〕 FM-FM 方式と他の方式の比較

有線を使用する搬送多重回線では周波数帯を節約するためほとんど単側帯波方式 (SSB) が用いられる。これではその儘、マイクロ波を周波数変調 (FM) した方式を SS-FM 方式と称するが、それ程回線数を必要としない場合にはかならずしも SS-FM 方式が適しているとはいえない。

一方パルス変調時分割方式の PPM-AM, PAM-FM 方式は高級な濾波器を使わず装置が非常に簡易化されるが、全通信路に共通な回路が相当多いため、全通信路の故障が起りやすいこと、また通信路数の少ない場合でも共通部分はあまり簡単にならないこと、中継局における分岐が複雑であることなどの不利がある。

日立製作所製 UXFS-014 型に採用している FM-FM 方式は 160 kc より 260 kc までの間の 4 周波の副搬送波を各通信路の音声周波信号で FM (周波数変調) し、これによりさらにマイクロ波主搬送波を FM する方式である。

この場合特に周波数間隔を大きく取れるから濾波器に対する仕様は楽になり小型化が容易である。また SS-FM, AM-FM に比べると、マイクロ波の周波数変調特性および中間周波の周波数弁別器の直線性あるいは中間周波増幅回路の位相特性などもさ程問題とならないから調整、保守なども非常に楽になる。⁽³⁾ さらに S/N 比の改善度が大きいから反射板を使用して伝播損失が増加するような回線においても有利になる。このように FM-FM 方式は比較的通路路数が少ない場合のマイクロ波多重通信方式としては、最もすぐれたものといえることができる。

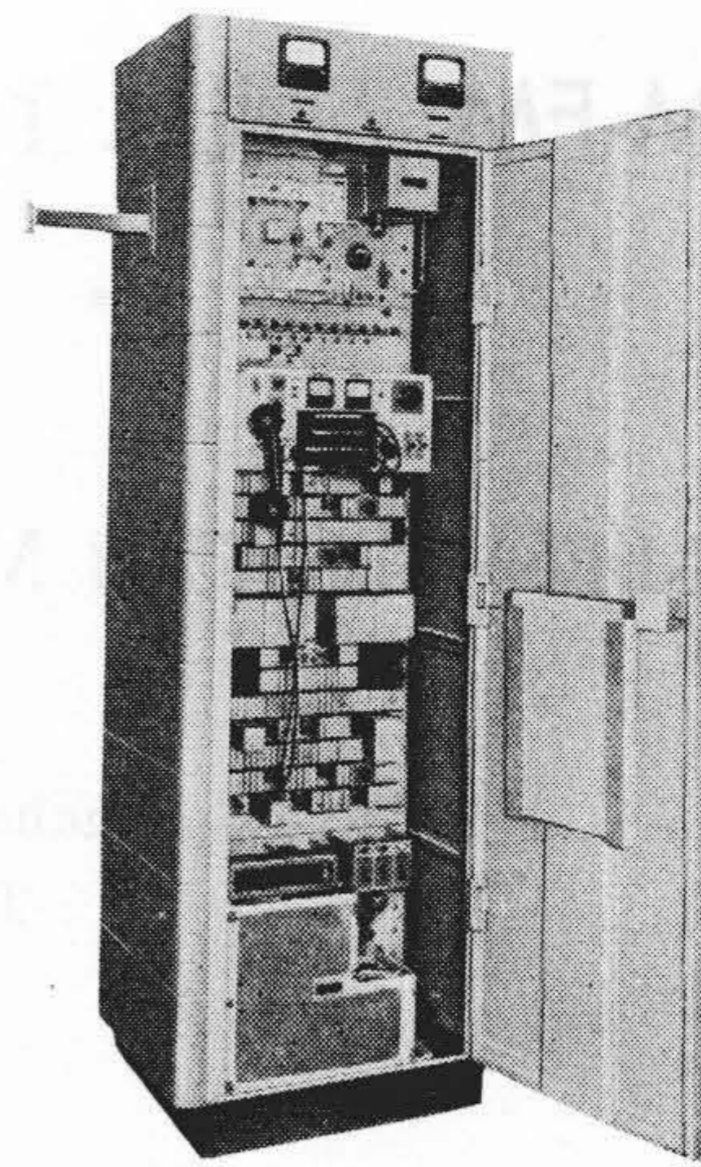
〔III〕 装置の特長

本装置は通信所と送信所との間に電信 4 通信路、模写 1 通信路、打合電話 1 通話路の回線を構成する多重通信装置であり、通信所側の甲装置、送信所側の乙装置により 1 対向を構成する。各装置は上部より無線送受信部、制御監視部、変復調端局部、電源部が 1 筐体内に収容されている。

装置は小型簡易にして保守容易なることを目標として設計され、下記のごとき特長を有している。

(1) マイクロ波送信管と局発管の共用

マイクロ波真空管は反射型クライストロン 2K26 を 1 本使用するのみで、装置が小型簡易化されるとともに真空管補給費が大幅に節減され、同時に調整、保守が容易になる。(なお第 2 図からもわかるごとく、甲乙両装置の送信周波数の差が中間周波数 45 Mc となっている)



第1図 UXFS-014 型 乙 装置 外 観
Fig.1. General View of Type UXFS-014

(2) AFC の簡易化

乙装置ではクライストロンを恒温槽に入れ、温度変化を小さくして周波数変動を抑えておき甲装置の送信周波数はこれに追随する方式をとっている。

(3) FM-FM 方式の採用

前記のごとく FM-FM 方式の採用により、伝送特性に対する要求が楽になり、調整保守が、容易になつている。

(4) 副搬送周波数の選択

濾波器を小型化するため周波数間隔を第 3 図 (第 60 頁参照) に示すごとく大きくし、さらに副搬送波の高調歪による漏話を考慮して決定してある。

(5) 呼出方式の簡易化

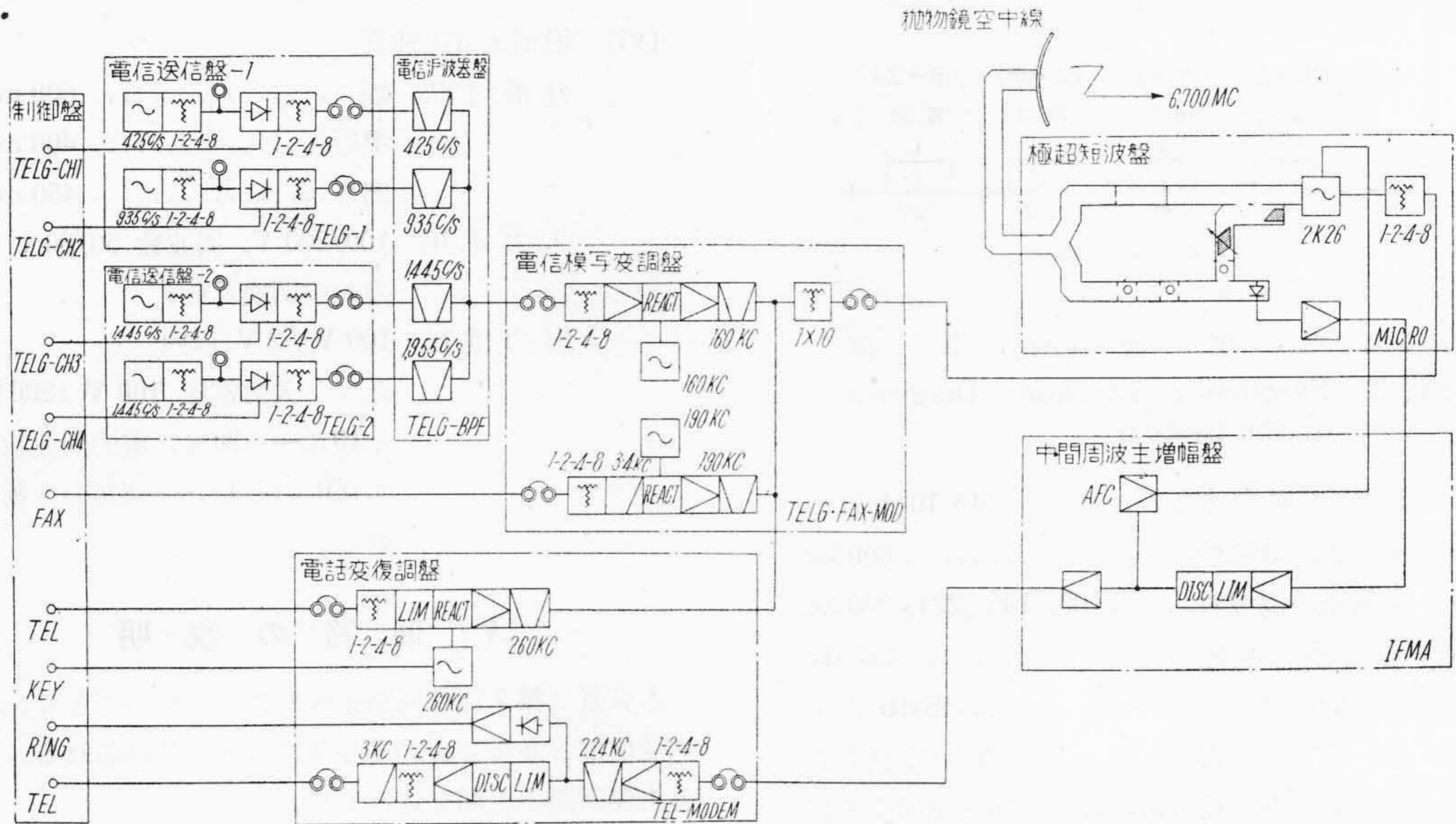
電話回線の呼出しには、副搬送波停止方式を採用している。すなわち受信側では副搬送波の停止により継電器が復旧し呼出しベルを鳴らすので、機構が簡単で動作はきわめて確実である。

(6) 電信波形調整

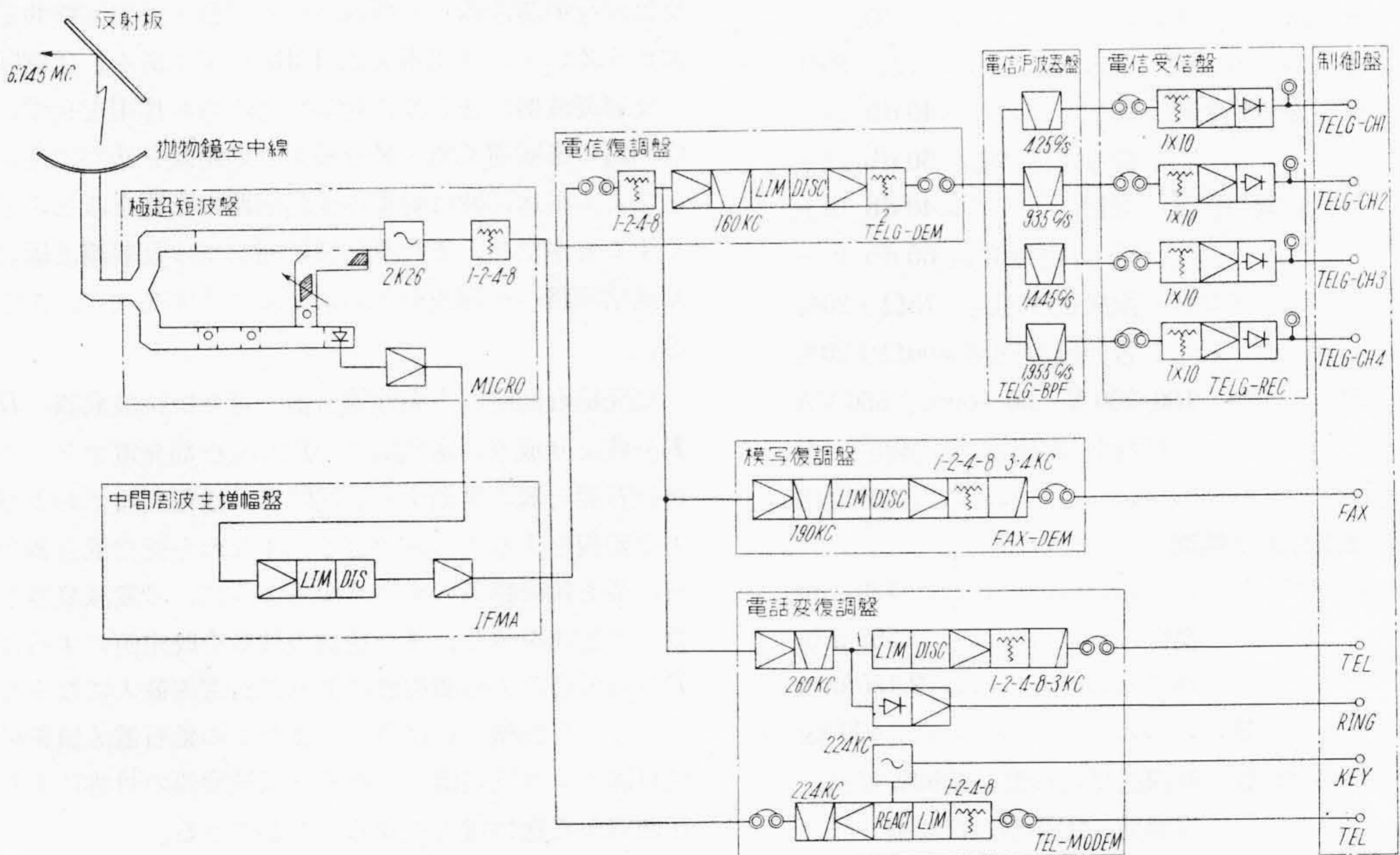
電信受信継電器としては高感度の有極継電器 2301-H1 を使用している。本継電器は巻線が 2 箇あり、一方には信号電流を流し、他方には逆方向に直流のバイアス電流を流し電流値を任意に調整できるようになつている。したがって受信符号のメークレシオを調整する場合、継電器の調整を行う必要は無く、可変抵抗により簡単に行うことができる。

(7) 濾波器および部品

FM 方式にした場合濾波器の位相特性が信号の歪率に大なる影響をおよぼす。したがって本装置では副搬送波用濾波器は特に位相特性の直線性が良好なごとく設計されている。また構造的に見ると新しい磁性材料の使用により寸法は著しく縮められ、mT 真空管、MP 蓄電器のごとき小型部品の使用と相俟つて装置を小型化している。



甲装置



乙装置

第2図 UXFS-014 型 通信装置回路系統図

Fig.2. Schematic Diagram of Type UXFS-014 Communication Equipment

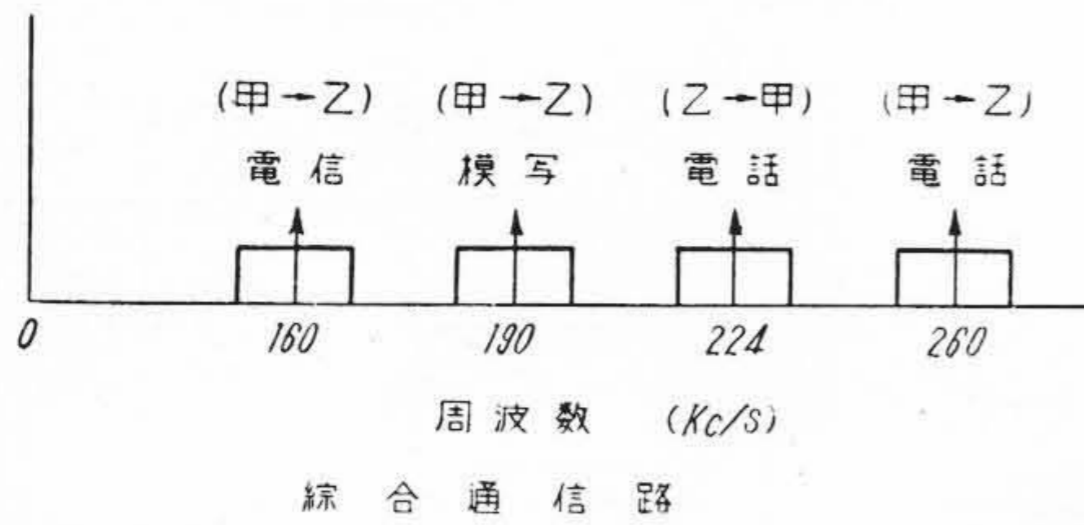
(IV) 装置の概要

(1) 性能

- (i) 通話路数 電信.....4 通信路
- 模写電信.....1 通信路
- 電話.....1 通話路

ただし変復調端局部のパネル交換により電話3通話路に使用可能。

- (ii) 通信方式.....FM-FM
- (iii) 主搬送波周波数 6,585~6,885 Mc の範囲で
 45 Mc 離れた2周波
- (iv) 送信出力.....80 mW 以上



第 3 図 周 波 数 割 当 図
Fig. 3. Frequency Allocation Diagram of the System

- (v) 周波数安定度..... $\pm 4 \times 10^{-4}$ 以内
- (vi) 最大周波数偏移..... ± 600 kc
- (vii) 副搬送波周波数.....160, 190, 224, 260 kc
- (viii) 受信機帯域幅..... 4.5 Mc
- (ix) 受信機雑音指数.....15 db 以下
- (x) 通話方式.....同時送受話方式
- (xi) 信号方式.....副搬送波停止方式
- (xii) 通話帯域 模写電信.... 300~3,400~
電 話.... 300~2,700~
- (xiii) 通信速度.....最高 50 ボー
- (xiv) 通話当量.....-8 db
- (xv) 信号対雑音比 電信.....40 db 以上
模写電信, 電話 50 db 以上
- (xvi) 漏話減衰量 電信.....40 db 以上
模写, 電信電話 60 db 以上
- (xvii) インピーダンス 副搬送波回路 $75\Omega \pm 20\%$
音声周波回路 $600\Omega \pm 20\%$
- (xviii) 電 源 100/200 V, 50~60~, 550 VA
(附属定電圧装置を使用して)
- (xix) 定 格.....連続定格

(2) 機器および構造

- (i) 外形寸法 幅..... 720 mm
奥行..... 555 mm
高さ..... 2,150 mm
- (ii) 重 量..... 430 kg
- (iii) 実装機器 無線送受信機盤, 制御監視盤,
端局盤, 電源盤, 計器盤
- (iv) 測定器 計器盤および制御監視盤にはそ
れぞれ 2 箇の電流計が実装され
ていて, マイクロ波出力, 周波
数, 各部電流電圧, 副搬波およ
び低周波関係のレベルなどを測
定可能。
- (v) 警報装置 (vi) 記項目に対してランプ点火
を行うと同時にブザーを鳴ら
す。送信出力低下, 周波数変化,
受信出力低下, フェーズ断

(vi) 附属定電圧装置

- 外形寸法 幅 600 mm
奥行..... 400 mm
高さ..... 450 mm
- 入力電圧 100/200 V, 周波数 50/60~ お
のこの切換可能。
- 出力電圧 100 V \pm 2 V 以内
ただし入力電圧 100 V (200V)
+10%~-30%, 電源周波数50
~(60~)+4%~-8%の変動に
対し。

[V] 回路の説明

本装置は第 2 図の回路系統図に示されるごとく, 無線送受信部と多重変復調端局部に大きく分けられる。以下各主要回路の説明を述べよう。

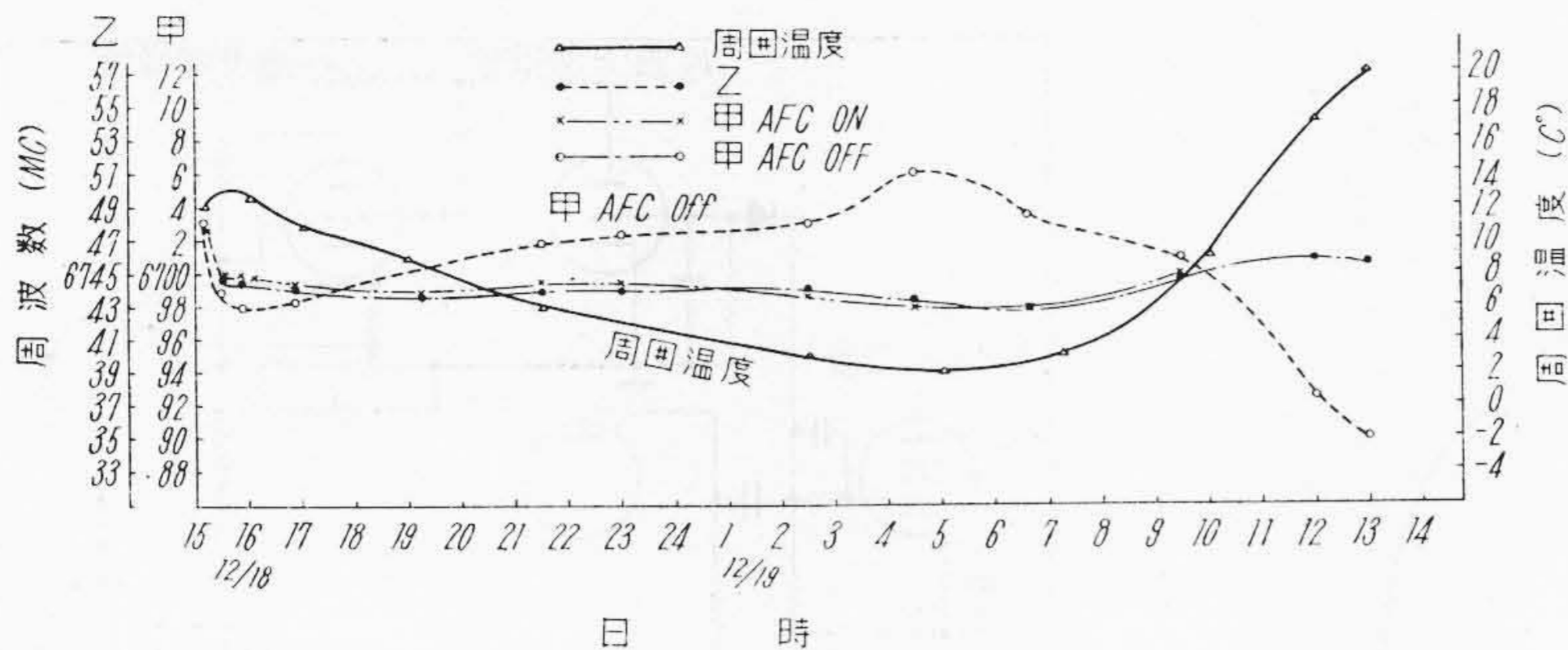
(1) 極超短波回路

空中線送受共用回路は H 面 Y 分岐, 受信波帯域濾波器, 受信波反射濾波器より構成され, 送信・受信回路共定在波比 1.2 以下, 共用損失は 1 db 以下である。送信回路の反射濾波器は送信波に対してなんらの作用をせず, 受信回路の帯域濾波器と Y 分岐よりの距離を適当に選ぶことによつて送信波に対する受信回路の影響をほとんど無くすることができ, また受信波に対しては反射濾波器により送信回路への漏洩をきわめて小さくすることができる。

局発結合回路は方向性結合器, 可変抵抗減衰器, H 面 T 分岐より成り, 送信電力の約 $1/100$ を局発電力として受信鉱石混合器に供給すると同時に, 送信周波数および電力の監視をすることができる。すなわち受信混合器の鉱石に最も雑音指数の小さくなるように, 可変減衰器を調整して電流を流し, また送信周波数を既定値にするには T 分岐雑音除去用濾波器により鉱石電流最大になるごとく周波数を調整すれば良い。またこの鉱石電流値を可変減衰器により既定値に合わせれば減衰器の目盛により較正曲線から送信電力を知ることができる。

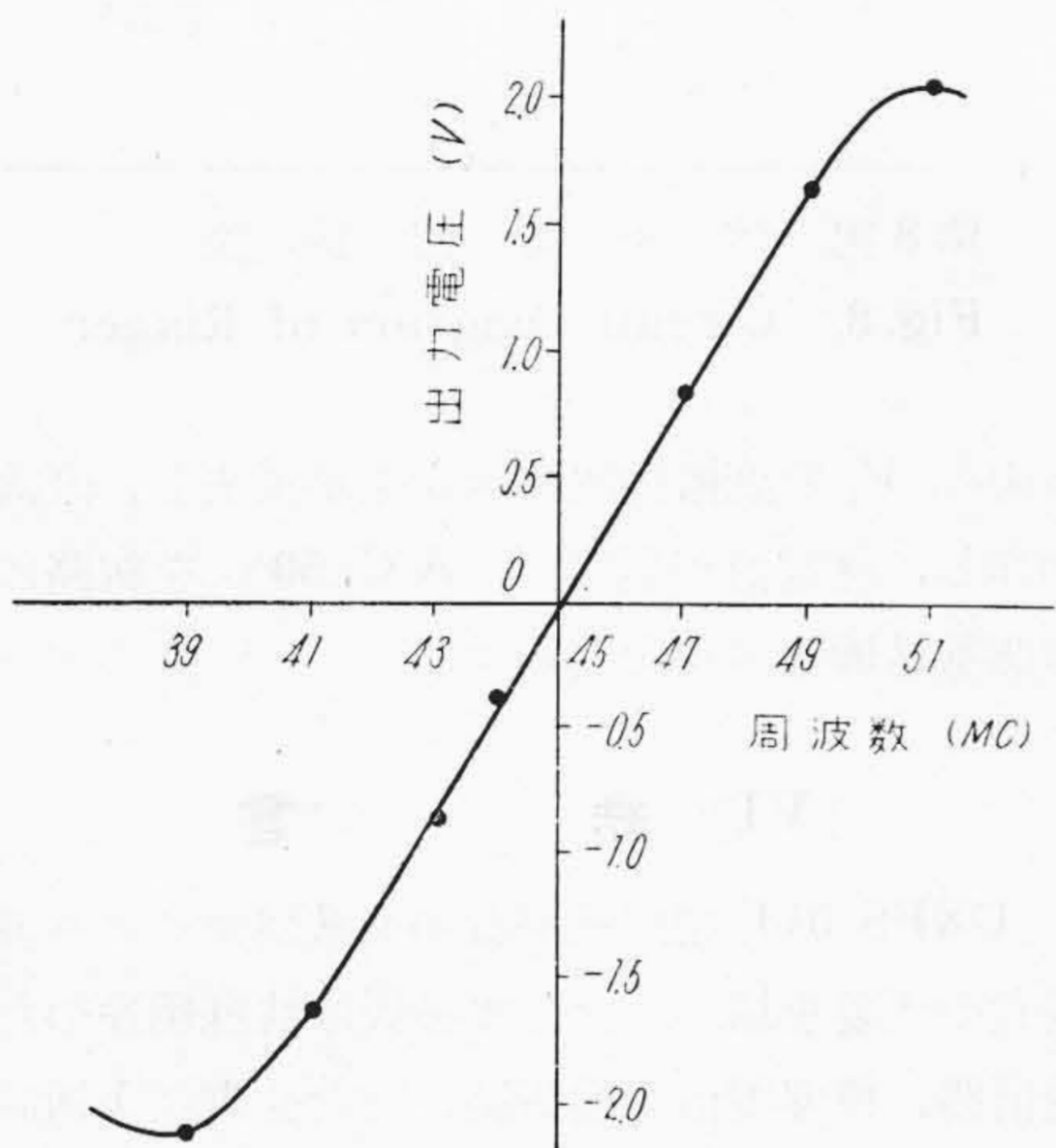
(2) クライストロン発振器

一般にクライストロン発振器は電源電圧, 温度, 負荷の状態の変化によつてその発振周波数が変化するため電氣的, 機械的の自動周波数制御回路を設け, 周波数の安定化を計らねばならない。本装置においては一方の局の発振器にはなんら AFC 回路を設けず, 定電圧電源による電源電圧の安定化および恒温槽による温度の安定化を行い, 相手局の無線復調回路である周波数弁別器を利用して反射電極電圧を制御する追従式の AFC をかけている。第 4 図の連続負荷測定値の一例よりわかるごとく,



第4図 送信周波数連続負荷特性

Fig. 4. Characteristic of Heat-run with Transmitter Frequency



第5図 周波数弁別器特性
Fig. 5. Characteristic of the Frequency Discriminator

通常の温度変化に対しては完全に AFC がかり実用上全く問題はない。基準になる乙装置の周波数変動は主として温度による固定抵抗器の抵抗値変化による反射電極電圧の変動によるもので、温度係数の小なる抵抗器を使用することによりさらに安定度を向上させることもできる。

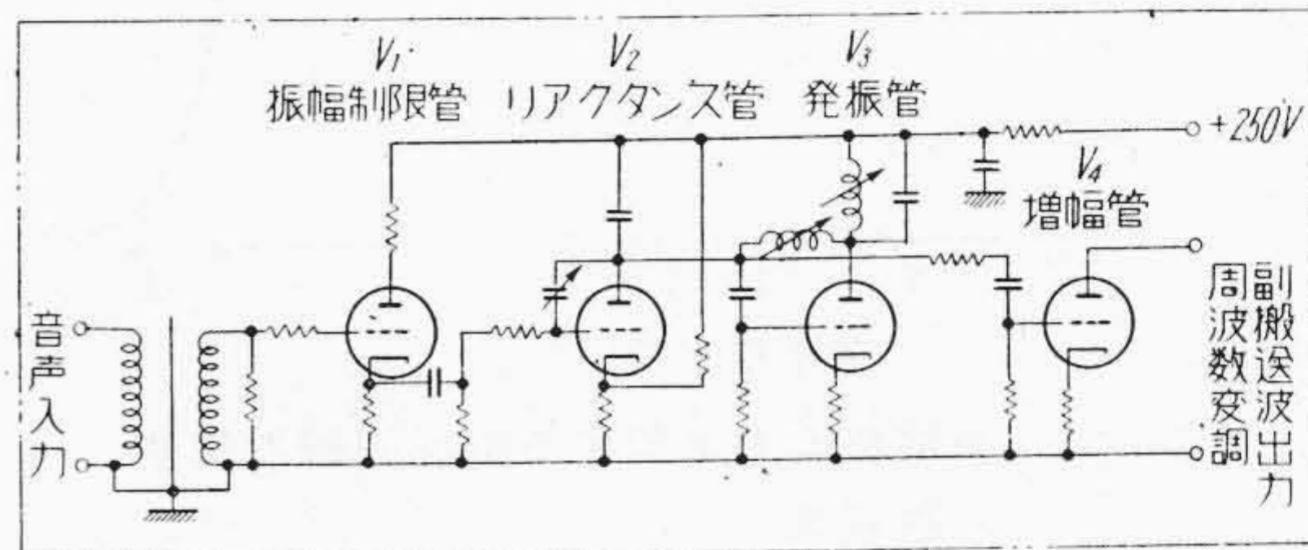
(3) 中間周波前置増幅器

マイクロ波受信機においては、現在のところ混合器として鉱石によらざるをえないので、中間周波数に変換するときにはかならず変換損失となる。それゆえ中間周波増幅器の雑音指数が受信機総合雑音指数を決定する大きな要素となる。本装置においては受信鉱石混合器に前置増幅器を直結し、6AK5の3極管接続により、中心周波数 45 Mc のウォルマン回路を使用し、受信機総合雑音指数 15 db 以下の値をえている。

(4) 中間周波主増幅器の回路

(i) 中間周波主増幅器

マイクロ波受信機の中間周波増幅器は周波数が比較的高くなり、高利得を必要とし、さらに通信方式が周波数



第6図 副搬送波変調回路図
Fig. 6. Circuit Diagram of Sub-Carrier Modulator

変調の場合に振幅特性のみならず位相特性をも問題にしなければならない。本装置の中間周波増幅器は7本の6AK5による位相特性最大平坦の複同調回路により所望の特性をえており、位相補償回路は使用していない。

(ii) 振幅制限器

中間周波主増幅器の後に6AK5, 2本の振幅制限器があり入力約 10 V 以上は完全に振幅を制限している。

(iii) 周波数弁別器

周波数弁別器はバックツウバック回路で2箇の同調線輪の周波数を弁別器特性の両側の山の周波数に合わせれば良いので調整は容易で、直線性も第5図のごとくきわめて良好である。この周波数弁別器により復調と同時に甲装置にては AFC 用の直流電圧を取り出している。

(iv) AFC 回路

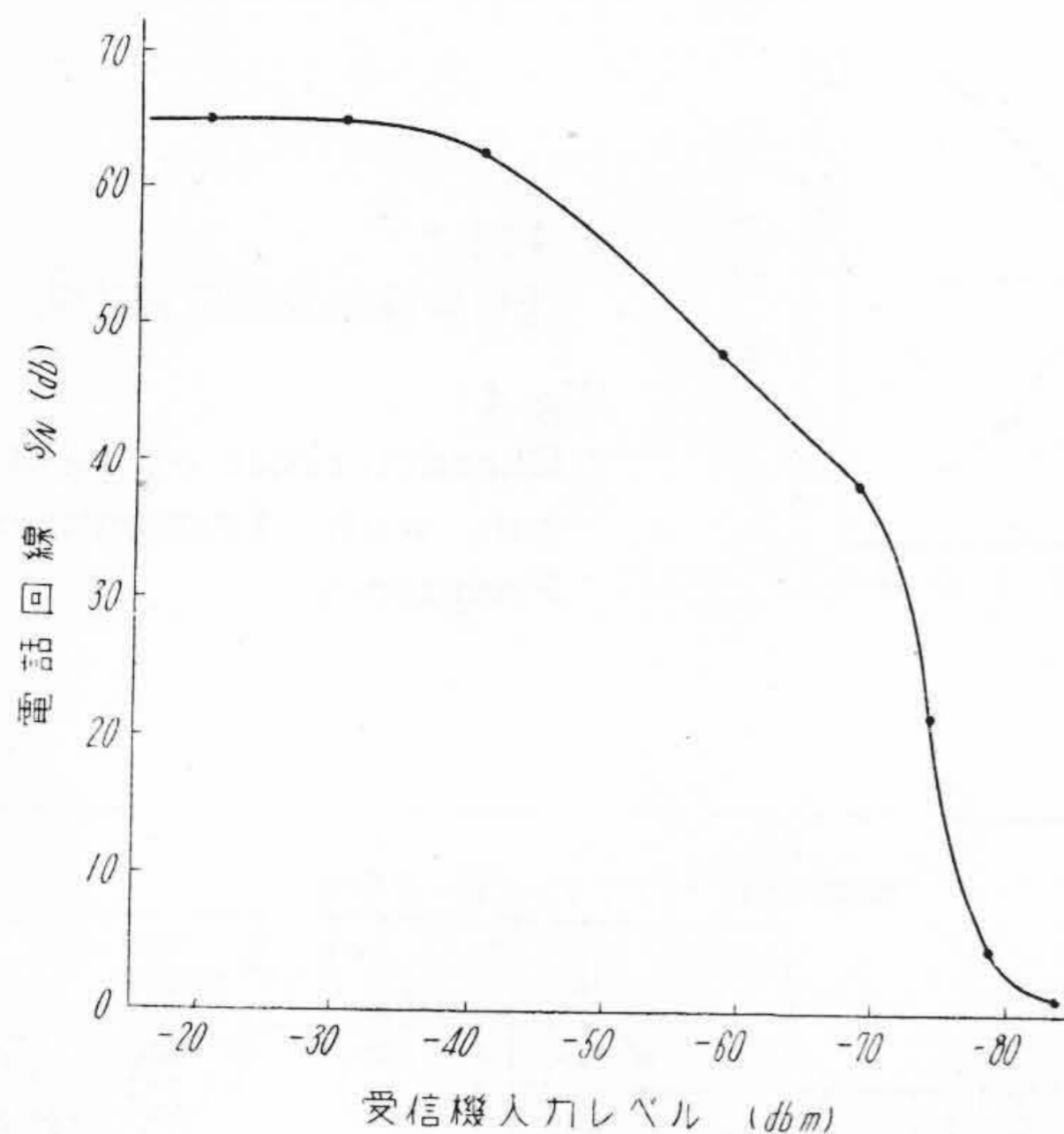
周波数弁別器の直流電圧出力は直流増幅器の制御格子に掛けられ、この増幅管の陽極電圧とクライストロンの反射電圧が直流的に結合されている。

(5) 多重変復調端局の回路

本装置においては無線送信部においてクライストロンを送信と局発に共用するため端局部としては副搬送周波数を2線式として考えねばならない。

(i) 変調回路

音声信号を周波数変調するのに変調歪少く、周波数偏移を大きく取るためにリアクタンス管を使用している。すなわち第6図の V1 で振幅制限をし過変調になるのを抑え、V2 がリアクタンス管として働かし、V3 の変形コルピッツ発振器の周波数を変化させるものである。この



第7図 受信機入力に対する電話回線の信号対雑音比

Fig. 7. Change of Signal to Noise Ratio for Telephone Line by Receiver Input Level

場合音声周波信号による最大周波数偏移は 160 kc において約 ±6 kc, 360 kc において約 ±10 kc で、マイクロ波を変調する場合の高い周波数における S/N 改善度の低下をこゝで補償する意味を持っている。一般的に FM-FM方式における S/N 改善利得(広帯域利得)は下式で表わされる。(4)

$$\Gamma_{FM-FM} = \sqrt{\frac{3}{2}} m_1 m_2$$

こゝに m_1 は端局部の変調指数

m_2 は無線部の変調指数

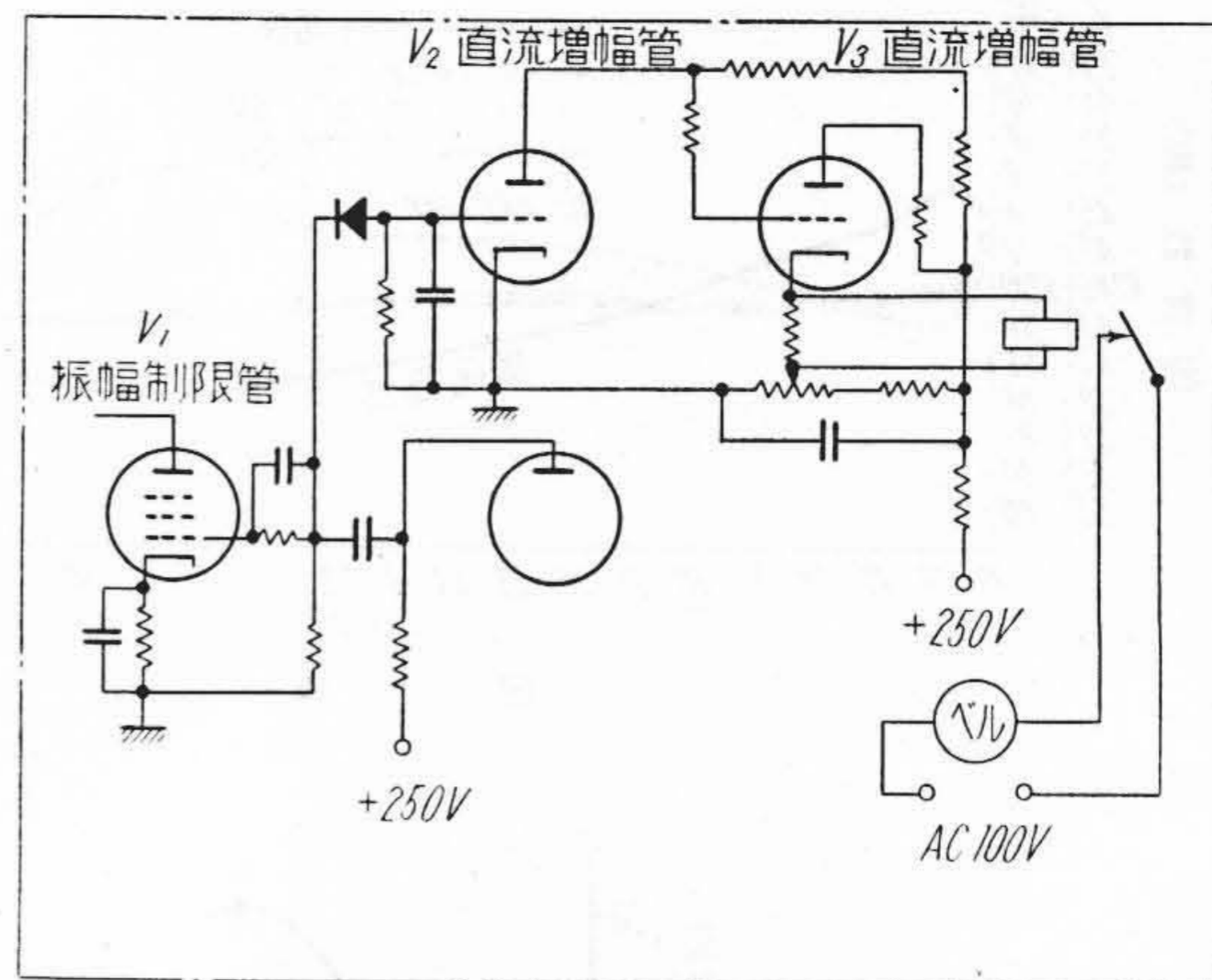
したがって各通話路の S/N を等しくするためには $m_1 m_2$ の積を等しくしなければならない。本装置においてはマイクロ波の周波数偏移を 200 kc/CH としているから、音声周波 1 kc に対して $m_1 m_2$ の積は約 7.5 となり S/N 改善度約 15 db で第7図の実測値とほぼ一致している。

(ii) 復調回路

中間周波主増幅盤の副搬送波出力は端局部の分波器によりそれぞれの周波数に分けられ、増幅器、振幅制限器を経て周波数弁別器により復調される。

(iii) 信号回路

相手局で呼出しベルを鳴らさんとする場合は、電鍵により電話副搬送波の送出を停止する。受信局側では第8



第8図 信号器回路図

Fig. 8. Circuit Diagram of Ringer

図回路図の V_1 の副搬送波整流電圧が消失し、直流増幅器が動作し、継電器が復旧し、A.C. 50 \sim を線路に送出し受信側電話機のベルを鳴らす。

[VI] 結 言

以上 UXFS-014 型局地回線用簡易型マイクロ波多重通信装置の概要を紹介した。本装置は特殊用途のため電信4通信路、模写電信1通信路、打合せ電話1通話路となっているが、標準型としては同一の構造で、電話3通話路の容量を有し、一部の変更によって電話6通話路迄収容することができる。日立製作所においては、日進月歩のマイクロ波通信装置に対し、性能の向上、保守取扱の容易化、装置の小型化の研究を続けている。製品のいつその向上のために大方の叱正、御鞭撻を頂ければ幸である。

終りに本装置の製作に当り、御指導、御協力を頂いた東北大学宇田教授東京工業大学川上教授ならびに本装置の製作に際し御指導を賜った各位に対し深甚なる謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 長浜: 日立評論 別冊6号(昭29)
- (2) 長浜: 日立 16 7(昭29)
- (3) 森本, 深海: 超短波通信方式
- (4) V. D. Landon: Theoretical Analysis of Various System of Multiplex Transmission. R.C.A. Review 9 287 (1948-7)