

中部電力株式会社納
高出力高感度7Gc帯多重無線電話送受信装置
 High-Power 7Gc Band Multi-Channel Radio Telephone Equipment
 with High Sensitivity

小和田 明* 関口 存 哉**
 Akira Kowada Ikuya Sekiguchi
 岡崎 彰 夫*** 斎藤 篤 雄***
 Akio Okazaki Atsuo Saitō

内 容 梗 概

最近、トランジスタ化されたマイクロ波無線装置が普及し、従来の真空管を用いたマイクロ波無線装置の新設はほとんど行なわれなくなり、マイクロ波無線装置はトランジスタ化に加えて高感度受信化が望まれるようになってきている。日立製作所では、昭和39年12月に、中部電力株式会社の高根系通信回線用として7Gc帯多重無線装置を納入しその運用が開始されたので、ここにその装置の概要を報告する。

この装置は、マイクロ波管以外は、いっさい真空管を使用せず、すべてトランジスタ化されている。回線容量は120通話路の検波中継形送受信機で、送信機には送信管出力15ワット、受信機には周波数負帰還による高感度受信方式が採用され、スレショールドレベル-93dBmの性能を有する高出力、高感度受信の最新形マイクロ波無線装置である。

1. 緒 言

中部電力株式会社では飛騨川水系の増強ならびに高根水力発電所の開発に伴う、通信回線の新增設計画に基づき、今回、同社の岐阜支店、川辺発電所、および東上田発電所間に7Gc帯SS-FM多重回線を新設して大幅な通信能力の強化を達成した。なお、この7Gc帯多重無線装置と接続される搬送端局は日立製のMT形搬送端局で、各局へ無線機と一緒に納入された。また川辺局は無人局であり、岐阜局より遠隔制御監視されるので、そのため、日立製の遠隔制御装置の親装置を岐阜局に、子装置を川辺局へ同時納入され、稼動にはいっている。

本回線は重要回線であるため、十分に安定な通信回線を確保する必要があり、そのため無線装置を高出力高感度化のものとし、またルート選定においても多大の考慮を払い、伝播テストも行なった。この回線は一般電話回線のほかに、テレメータ、リモコン信号などを伝送しており、現用機、予備機の切り替えにも特に注意が払われている。

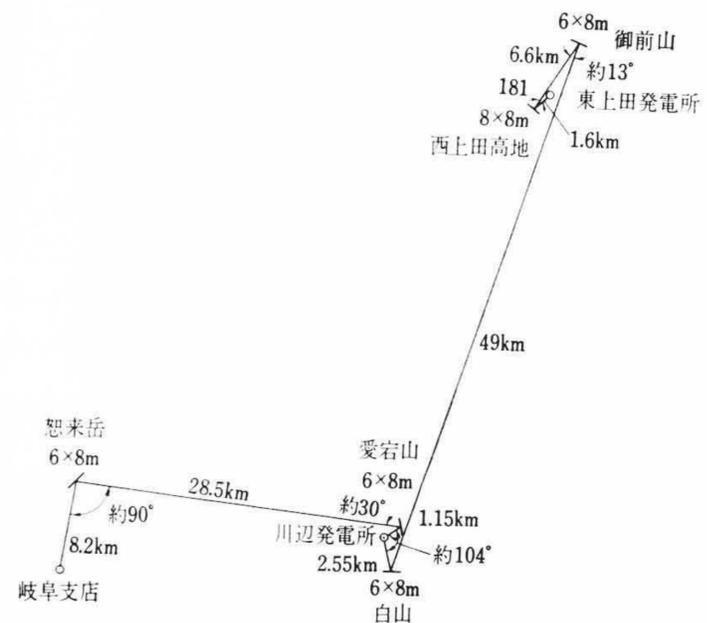
2. 回 線 概 要

本マイクロ回線のルートは、第1図に示すとおりである。また周波数配列は第2図のようになっている。第1図に示すように2枚反射板区間と3枚反射板区間で構成される回線であるので主要幹線としてはかなり過酷なルートとなっている。

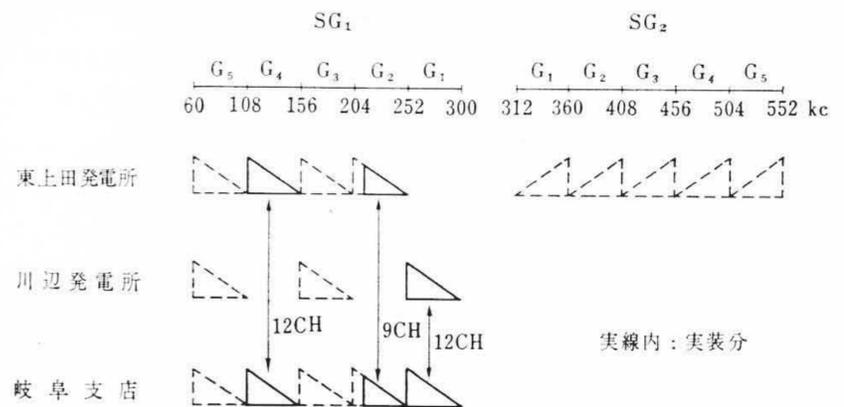
第1表は回線設計例を示したものである。実際には給電線長の増加、反射板能率、導波管切替器損失などの変動があったのでドロップアウトマージンは実測で約33dB程度であったが、伝播テストの結果などからみても十分安定な回線が得られた。

3. 装置設計の概要

本回線は中部電力株式会社の高根方面の主要幹線であるため、回線品質はもちろんのこと、その安定度に関しては十分な考慮を必要とした。また運用上も保守の簡便化を図るうえにも高信頼度の機器



第1図 ルート図



第2図 搬送周波数配列

を要求している。ここに述べるUXFT-FH 2151形送受信機は次のような特長を有している。

- (1) マイクロ波管以外の能動素子はすべて固体電子化されているので機器の信頼度はマイクロ波管のみに依存している。
- (2) 高出力進行波管を用いているので、悪い伝播条件のルートでも使用できる。
- (3) 高感度受信方式を採用しているため、スレショールドレベルが低くなっている。

* 中部電力株式会社工務部通信課長
 ** 日立製作所中央研究所 工博
 *** 日立製作所戸塚工場

第1表 回線設計

| 区間 | 岐阜支店-川辺発電所 | 川辺発電所-東上田発電所 |
|--------------------------|----------------------|---------------------------|
| 送信管出力 (dBm) | 41.5 | 41.5 |
| 送受パラボラ利得 (dB) | 3 mφ 86 | 3 mφ 86 |
| 反射板利得 (dB) | 4×6 m 207.5 6×8 m | 6×8, 6×8 m 327.5 8×8 m |
| 小計 (dBm) | 335 | 355 |
| 自由空間損失 (dB) | 375.5 | 497.5 |
| 共用回路損失 (dB) | 4.5 | 4.5 |
| 給電線損失 (dB) | 0.1 dB/m 9.5 | 0.1 dB/m 7.5 |
| 小計 (dB) | 389.5 | 509.5 |
| 受信入力 (dBm) | -54.5 | -54.5 |
| Threshold level (dBm) | -93 | -93 |
| Drop-out margin (dB) | 38.5 | 38.5 |
| Drop-out margin (dB) 実測値 | 33 | 33 |
| 備考 | | |

T: 絶対温度
B: 中間周波帯域幅
N_F: 雑音指数
ρ₀: この場合 8

(1)式よりスレシヨールドレベルを下げるためには、一般の場合、雑音指数を良くするか、帯域幅を狭くすることが必要である。したがって前者はパラメトリック増幅器を使用して高感度化を図ることにより、後者はたとえば周波数負帰還を行なって帯域幅圧縮をすることによりFM-FB方式で行なえる。両者を併用すれば当然それだけさらにスレシヨールドレベルの改善ができる。

本装置は後者のみを採用することにしたが、立体回路の一部の変更によりパラメトリック増幅器の実装も考えている。

周波数負帰還によるスレシヨールドレベルの改善について述べる。受信機の復調出力を局部発振器に周波数変調する負帰還を施し、局部発振周波数を受信波の周波数変調に追従して変化させると中間周波増幅器における周波数偏移は圧縮される。したがってそれだけ中間周波帯域幅を狭くしても、ひずみを増加することがないので狭帯域として振幅制限器への雑音成分を少なくする。これによりS/N比を害せずスレシヨールドレベルを下げるができるというものである。

また最近、周波数負帰還系のスレシヨールドには Open-loop スレシヨールドと Closed-loop スレシヨールドの二つが存在し、系全体のスレシヨールドはどちらかレベルの高いほうで決まると発表されている⁽³⁾。Open-loop スレシヨールドは周波数負帰還をかけたときと同じ狭帯域の中間周波帯域幅をもった従来のFM復調器のスレシヨールドと同じである。Closed-loop スレシヨールドは周波数負帰還をかけたことによって新たに生ずるスレシヨールドである。

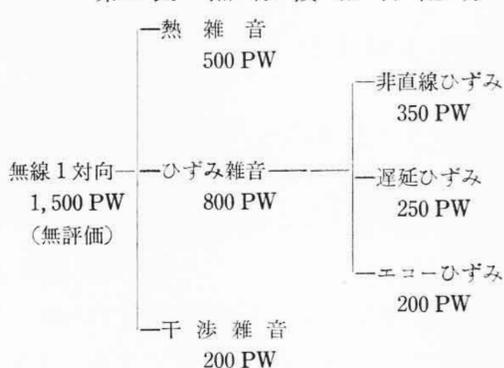
Open-loop のスレシヨールドレベルは(1)式とまったく同じ式で示されるが、Closed-loop のスレシヨールドは、文献(3)によれば

$$P_c = 4.8 \left[\frac{F-1}{F} \right]^2 KTB_c N_F \dots\dots\dots (2)$$

ただし、F: 帰還量
B_c: Closed loop の雑音帯域幅

で決定されるとしている。したがって、われわれはこの両者のスレシヨールドを接近させて P_{Th}=P_c になるよう設計した。また帰還系を安定にかつ有効に働かせるために種々の検討を加えた回路

第2表 無線機雑音配分



- (4) すべて前面より操作するようになっていて、各パネル、ユニット、シートなどはプラグイン式になっているので保守が容易で、取り扱いが便利である。
- (5) 直流 24V で動作する。交流電源で装置に供給される場合は別にエリミネータを付加すればよい。
- (6) 現用、予備の切り替えは高速度化されている。
- (7) 打合電話はスピーカ呼出しのほかにダイヤルで各局個別呼出しおよび一せい呼出しができる。

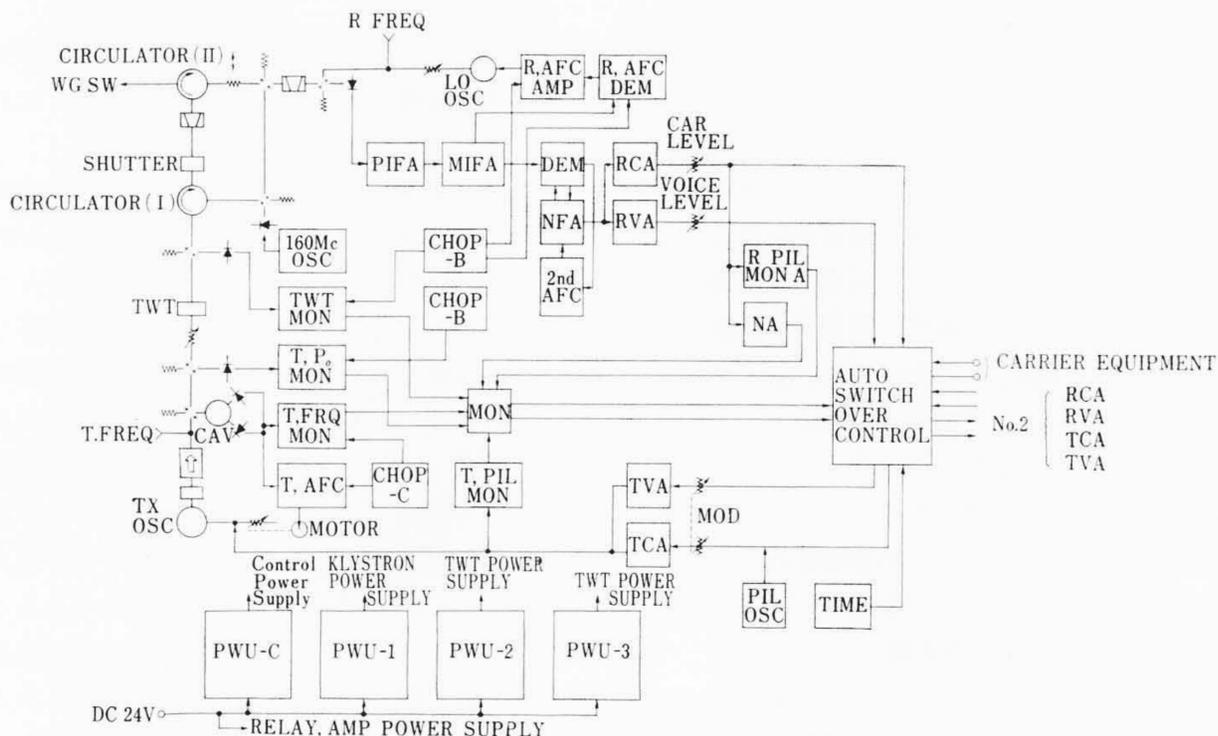
次に本装置の雑音配分は第2表により与えられている。本装置は回線延長をも考慮して、この規格には十分余裕のある値で設計されているので後述の試験データに示すような好結果を得た。

周波数変調による通信回線は他の変調方式による通信回線、たとえば振幅変調方式に比べて通常の状態では広帯域利得によって信号対雑音比が大きくとれるなどの長所を有している。ところが一方、周波数変調方式の受信機には、入力信号が一定の限界より小さくなると急激に信号対雑音比が小さくなる、いわゆるスレシヨールドレベルが存在するという欠点がある。したがって最近、この周波数変調方式の広帯域利得の長所を失わずに、スレシヨールドレベルを下げて、より以上の回線をうるための受信機の研究開発が活発になってきた⁽¹⁾⁽²⁾。一般に高感度受信方式と呼ばれるものがそれに当たる。

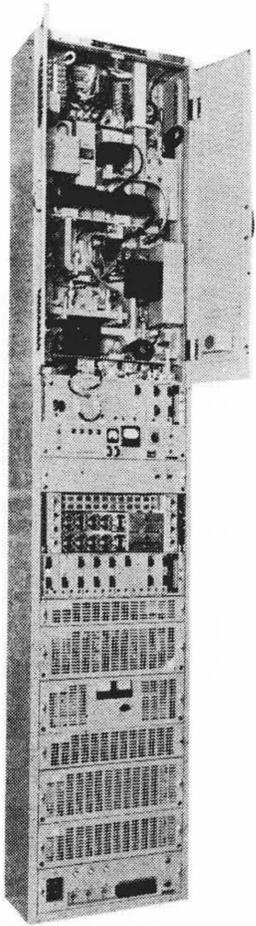
周波数変調受信機のスレシヨールドレベルは次式で表わされる。

$$P_{Th} = \rho_0 KTB N_F \dots\dots\dots (1)$$

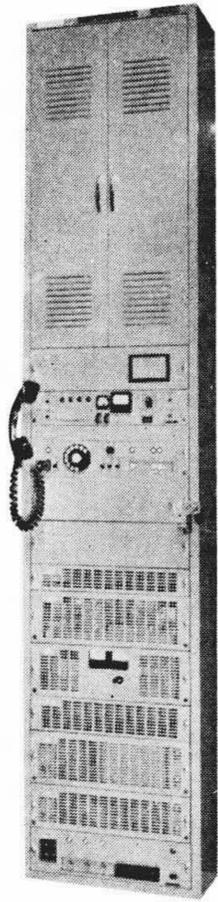
ここに、K: ボルツマン定数



第3図 UXFT-FH 2151 形 (B) 送受信装置系統図



第4図 UXFT-FH 2151 形(B) 送受信装置 (現用機)



第5図 UXFT-FH 2151 形(A) 送受信機装置 (予備機)

を、帰還系に使用した。帰還系の設計にあたっては Bode の理論に従い、第二中間周波を設けてループの安定化を図るとともに、位相回転の少ない2重同調の狭帯域フィルタの設計を容易にし後述の第7図のような系統図で設計を行なっている。

4. 装置の概要

第3図は本装置の回路構成をブロック図で示したものである。また、第4図および第5図はそれぞれ現用機、予備機の外観写真である。

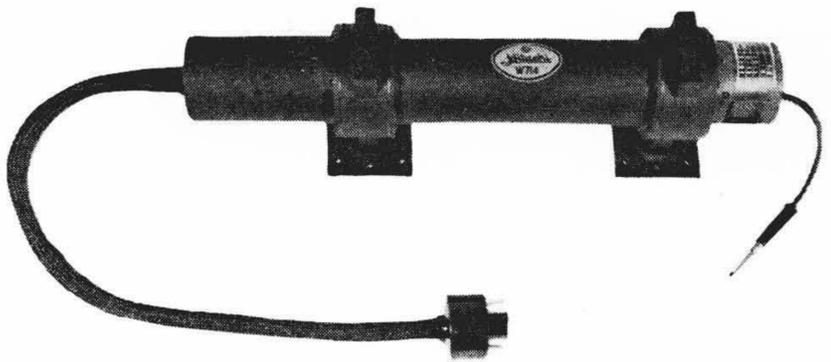
4.1 立体回路系

送信3段、受信5段の帯域濾波器とサーキュレータで構成される送受共用回路を中心として、送信系はクライストロンと進行波管の二つのマイクロ波管を有する回路、受信系は局発クライストロンを含む回路でまともっている。送信系は自局折り返しを予備機状態で行なえるよう、サーキュレータとシャッター回路素子を備えており、シャッターの減衰量は45 dB以上にしてある。クライストロン7V 224で変調された送信波は進行波管 W-714により管出力約15ワットに電力増幅される。すなわち本装置は送信系に電力増幅部をも含めて実装している。進行波管で増幅された送信波はフェライトスイッチを通して給電線に供給されるが、予備機の状態ではこのフェライトスイッチにより約25 dB減衰される。給電線よりの受信波はフェライトスイッチを通過して送受共用回路により受信ミキサ回路にはいる。このとき、送信波と同様、予備機はこのフェライトスイッチで約25 dB減衰し、さらに受信回路に抵抗減衰器がそう入されているのでこれによって約30 dB減衰する。したがって予備機状態での自局折り返しは受信波の妨害なく行なわれる。

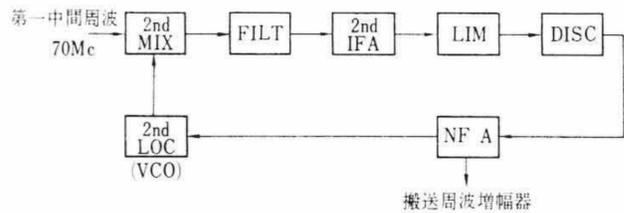
クライストロン、進行波管出力モニタ用回路、進行波管出力測定端子、送信周波数、局発周波数測定端子が保守調整に便利な位置に設けてある。第6図は進行波管 W-714の外観写真である。

4.2 第一中間周波増幅器

本装置は高感度受信化のため2重スーパーヘテロダイン方式を採用している。第一中間周波数が70 Mc、第二中間周波数が28 Mcである。第一中間周波系としては前置中間周波増幅器、主中間周波増



第6図 進行波管 W-714



第7図 FM-FB 復調器ブロック図

幅器、局発クライストロンの追従式 AFC 用の周波数弁別回路がおもなものである。さらに、第一中間周波の帯域特性を規制する帯域濾波器が前置中間周波増幅器と主中間周波増幅器の間にそう入されている。この濾波器はユニットになっているので、この濾波器の交換により任意の帯域幅が得られるよう設計されている。増幅器には分布定数形広帯域変成器が用いられ、トランジスタ 2 SA 290 ⑩ をエミッタ接地で使用して、広帯域でかつ安定な振幅周波数特性が得られている。

AGC 回路が前置、主中間周波増幅器に組み込まれていて、受信入力レベルの変動に対して増幅器出力を広範囲にわたって一定レベルにおさえてある。AGCは2 SA 290 ⑩のベースバイアスの変化によって行なわれており、直流増幅器には特に考慮されている TWIN 形トランジスタ HS 507 などを用いて、温度変化に対してきわめて安定な特性を持つ回路が採用されている。

4.3 高感度ユニット系

高感度のループを構成するユニットとして復調器盤、帰還増幅器盤および第二受信 AFC 盤がある。特に前二つのユニットが重要な部分である。

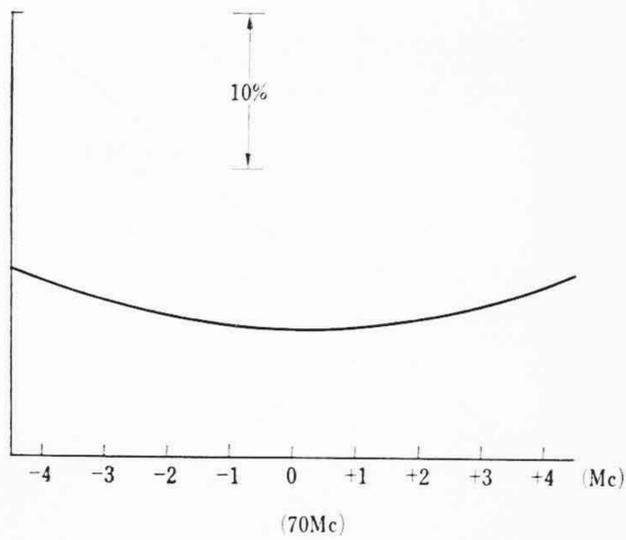
本装置は前述のように周波数負帰還方式の高感度受信機を持っているが、その部分は第7図のブロック図で表わされる。すなわち第二局発回路に復調器出力を負帰還して中間周波での周波数偏移を圧縮し、中間周波帯域幅を狭帯域にすることにより、スレショールドの改善を図っている。本装置は14 dBの負帰還をするよう設計されている。

復調器盤は第二周波数変換回路、第二中間周波増幅回路および狭帯域2重同調濾波回路が組み込まれ、十分に効果的なリミタ特性を持つ周波数弁別回路がある。

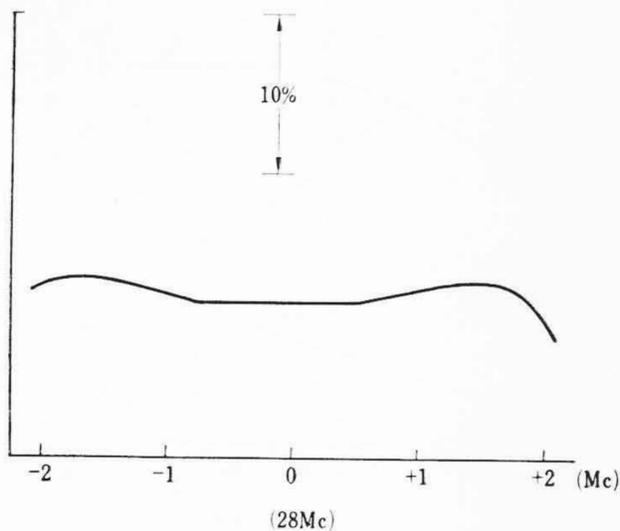
帰還増幅器盤は復調信号を増幅し負帰還を安定にかけるための位相補償を行なう帰還増幅回路と、第2局発振回路よりなる。第2局発回路は発振周波数が98 Mcの変調器と増幅器で構成され、変調は発振器の共振回路の容量素子を変調信号に従って可変することにより行なわれるので、可変容量素子として電圧制御形可変容量ダイオードが用いられている。帰還増幅器の出力をこのダイオードのバイアス電圧に重畳することによって得られた周波数変調波の位相を、第1中間周波の周波数偏移に追従するように、第2中間周波部の周波数偏移が圧縮される。

4.4 打合回路系

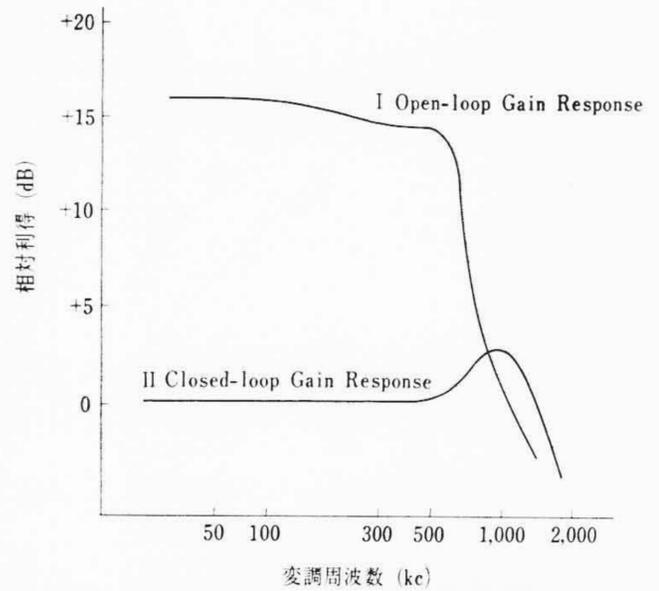
本装置は打合回路系に遠隔制御、監視のための各種信号をのせて



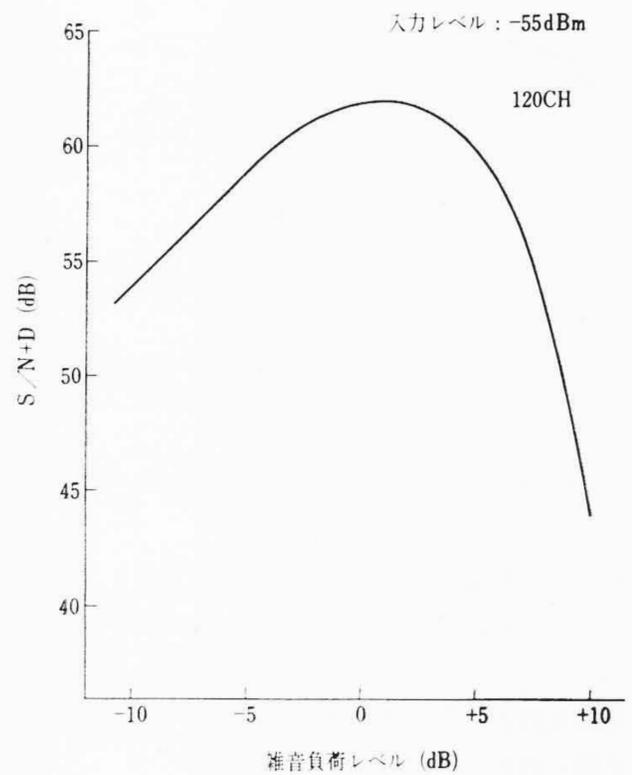
第8図 変調微分特性



第9図 復調微分特性



第10図 負帰還ループ特性とベースバンド総合周波数特性



第11図 準漏話雑音特性

いるが、ここでは無線機間での打合電話について述べる。打合回路は多重通話路系とは別の変調、復調増幅器を持っているが、すべて多重回路と同様な経路で構成される。一般にはスピーカによる一せい呼出しのみが行なわれているが、本装置はスピーカによる一せい呼出しのほかに、ダイヤルによる一せい呼出し、ならびに個別呼出しができる。したがって各局には定められたダイヤル番号があり、無線機にあるダイヤルをまわすことにより希望する局と他局に漏れることなく通話ができる。そのための発信信号回路、受信信号回路、各濾波器、ハイブリッド回路を予備機の打合回路部にシート構造で実装している。

4.5 切替回路系

本装置は中継局が50%予備の場合は、現用機と予備機の別は決められているが、それ以外の場合、たとえば端末局100%予備の場合は、任意に現用機を指定して選択できる。高速切替⁽⁴⁾を行なうための論理回路が実装されているほか、無人局の場合、親局より遠隔制御されることができるようになっている。

4.6 電源回路

電源は入力24Vの直流で動作するように設計されており、交流電源が供給される場合は別にエリミネータ回路を付加することにより動作する。したがって各種高圧回路はDC-DCコンバータにより得ている。電源はクライストロン電源、進行波管電源、各種定電圧電源を作る雑電源の3種より構成されている。

4.7 その他

以上のほかに各種のモニタ回路、制御回路があるが、それらはすべて標準形のパネル、シート構造で、プリント基板に組み込まれているので、追加、削除が容易かつ保守調整に便利になっている。

5. 装置の性能

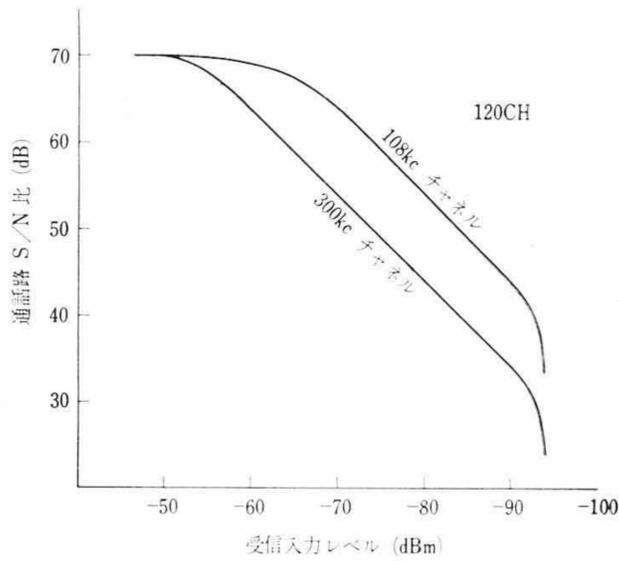
本装置の主要性能は下記のとおりである。

5.1 一般性能

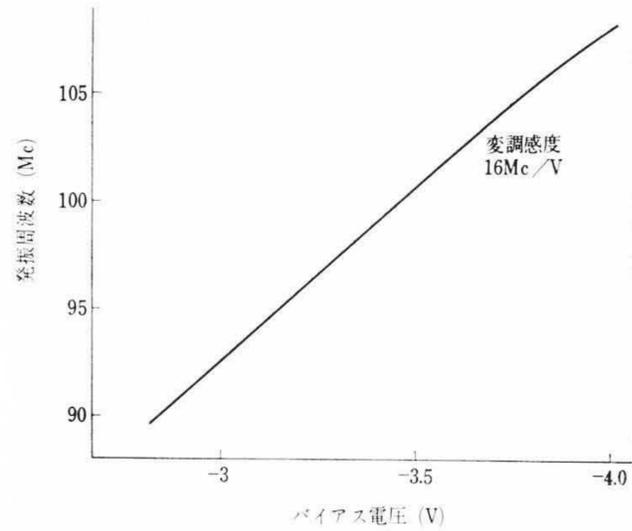
- (1) 無線周波数 6,575~6,875 Mc
- (2) 送受周波数間隔 160 Mc
- (3) 変調方式 クライストロンによるSS-FM方式
- (4) 受信方式 AFC付二重スーパーヘテロダイン方式
- (5) 中継方式 検波中継方式
- (6) 予備方式 セット予備方式
- (7) 通話路容量 多重120CH 打合1CH
- (8) 所要電源 DC 24±10% 約17A (1架当たり)

5.2 送信部

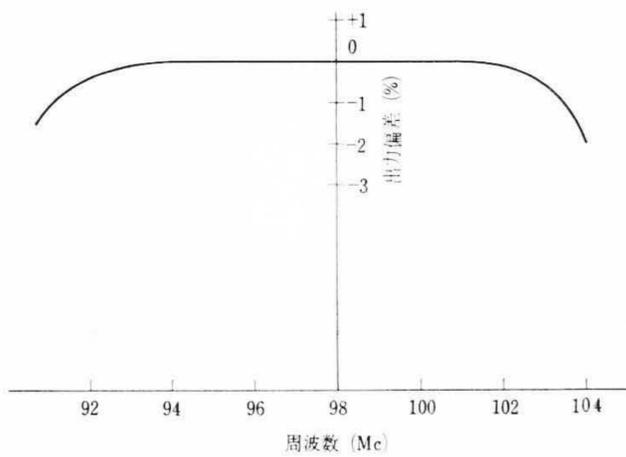
- (1) 送信管出力 約15W
- (2) 送信管 W-714 進行波管
- (3) 変調発振管 7V 224 クライストロン
- (4) 送信周波数安定度 ±2×10⁻⁴
- (5) 変調周波数 0.3~6 kc 打合回線, テレコン信号
27 kc 無線機パイロット
60~552 kc ベースバンド



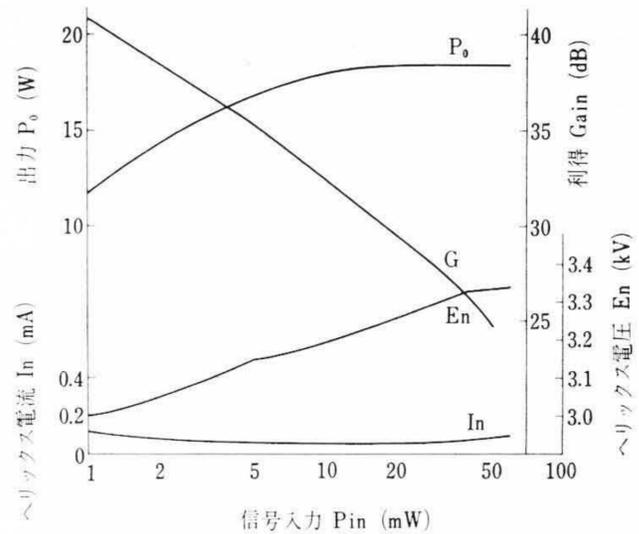
第12図 通話路 S/N 特性



第14図 電圧制御発振器の変調感度特性



第13図 電圧制御発振器の変調微分特性



No. 191
 E_w -17 (V) E_i 3,350 (V) I_c 40.2 (mA)
 E_{A1} 1,850 (V) f 6.8 (G.C)

第15図 進行波管 W-714 の特性

- (6) 標準周波数偏移 ± 140 kc rms/CH
 - (7) 変調微分特性 ± 3 Mc 2次 3% 以下
3次 4% 以下
 - (8) 変調入力インピーダンス 75Ω 不平衡
 - (9) 変調入力レベル -25 dBm/CH
- 5.3 受信部
- (1) 雑音指数 ミクサ入力で 11 dB 以下
 - (2) 第一中間周波数 70 Mc
 - (3) 第二中間周波数 28 Mc
 - (4) 受信 AFC 追従精度 ± 50 kc 以内
 - (5) A G C 特性 -87~-45 dBm のマイクロ入力変化に対し中間周波出力変化は ± 1 dB 以内
 - (6) 復調周波数 送信変調周波数に同じ
 - (7) 復調出力インピーダンス 75Ω 不平衡
 - (8) 復調出力レベル -15 dBm/CH
 - (9) 復調微分特性 ± 3 Mc で 2次 2% 以下
3次 4% 以下
 - (10) スレショールドレベル -93 dBm
 - (11) 遅延ひずみ ± 3 Mc で 2次 13 m μ s 以下
3次 20 m μ s 以下
 - (12) 局発管 7V 224 クライストロン

5.4 送受共用回路

- (1) 送受共用回路損失 4.5 dB 以下
- (2) フェライトスイッチ損失 1 dB 以下
- (3) VSWR 1.3 以下

5.5 総合特性

- (1) 装置雑音 搬送最高周波数帯において 3.1 kc 音声

帯域1通話路当たり S/N 65 dB 以上 (評
 価値)

- (2) ベースバンド周波数特性 60~552 kc で偏差 1 dB 以内
- (3) 参考試験データ

第8図から第15図に示すデータは、本装置の抜取試験データである。

6. 結 言

以上述べたように中部電力株式会社高根系マイクロ回線用として納入した7Gc帯多重無線装置は高出力高感度という特長を有しており、機器はすでに昭和39年12月据付完了と同時に使用され、その特長を遺憾なく発揮している。日立製作所では、さらにあらゆる使用者側の要望に答えるためトランジスタ化無線機全般の性能向上と安定度向上の研究を絶え間なく続けているので批判を仰ぎたくここに7Gc帯多重無線機の概要を述べた所である。

終わりに本装置についてご配慮、ご指導いただくとともに現地工事にご協力いただいた中部電力株式会社のかたがたに厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 尾佐竹, 物井: 信学誌 38, 343 (昭 30-5)
- (2) 森田, 伊東: 信学誌 42, 737 (昭 34-8)
- (3) L. H. Enloe: PIRE., 50, 1962 (Jan. 1962)
- (4) 荒川ほか: 日立評論 46, 813 (昭 39-5)