

ガンダイオードを用いたテレビ中継装置

TV Relay Equipment Employing Gunn Diode

海老名 忠 夫*

Tadao Ebina

佐藤 正 弘*

Masahiro Satô

吉川 民 男*

Tamio Yoshikawa

金子 洋 一**

Yôichi Kaneko

田中 満 雄**

Mitsuo Tanaka

要 旨

直接変調が可能なガン発振器を用いた特殊中継用の可搬形テレビ中継装置を試作した。

送信ガン発振器の周波数を13GHzとし、映像信号で直接変調が可能なバラクタ装荷形を採用した。出力は55mWを得ており中継可能な距離は最大5kmである。受信用ガン発振器はAFCをかける必要性から送信用と同様バラクタ装荷形を使用した。

機器を可能なかぎりIC化した。特に受信用ミキサはマイクロ波IC化され、従来のものに比べ大幅に小形化された。また130MHz中間周波増幅にはハイブリットICを開発し1段あたり8dB、1dB帯域幅200MHzのものを得た。

映像ユニット、音声ユニット、電源についてもIC化し、小形、軽量化を図るとともに一部特性の向上を実現した。

1. 緒 言

最近、都市の高層建築化や交通事情の悪化などにより、見通し距離が短くなるに従い短距離でも多段中継が必要となった。また番組も多様化し従来は不可能とされていた地点での中継も検討しなければならなくなった。このため特に小形軽量で機動性に富んだ特殊なテレビ中継装置が望まれるようになった。一方、数年前から固体化がマイクロ波帯にまで及び、ガン発振器やマイクロ波ICの開発が進み実用化が可能となった。日立製作所においても、中央研究所においてガン発振器およびマイクロ波ICの開発研究が行なわれており、今回それらの技術を基礎とした13GHzテレビ中継装置が開発された。

2. 設計の要点

2.1 開発の目的

- (1) ビル間の短距離多段中継を便利にする。
- (2) 報道番組の多様化に伴い、従来機器では困難であった、特殊中継を可能にする。
- (3) 従来のケーブルに代わる中継機とする。

以上のように伝送距離5km程度の特種かつ簡易な中継用機器を開発することを目的とした。

2.2 開発の重点項目

- (1) ガン発振器、マイクロ波ICの使用により小形、軽量という利点をじゅうぶんに生かした機動性のある装置とする。
- (2) 13GHz、50mWという特殊性から考え、従来以上に多段中継への使用が予想されるため、特にカラー特性、バーンス特性の良い装置とする。
- (3) 用途に適したICの採用により回路の簡素化、信頼度の向上、原価の低減を図る。

3. 装置概要

装置の外観および系統は図1～3に示すとおりである。

送信装置には映像信号により直接変調が可能なバラクタ装荷形ガン発振器を使用し、回路の大幅簡素化を図った。

一方、受信装置においてもAFC(Automatic Frequency Control)をかける必要から局部発振器の信号源として送信と同様バラクタ装荷形ガン発振器を使用した。またマイクロ波IC形ミキサの採用により大幅な小形、軽量化を図っている。

図1 13GHz テレビ中継装置の外観



3.1 主要定格

(1) 送信装置

送信周波数	12,700～13,250MHzの一波
送信出力	50mW
周波数安定度	$\pm 5 \times 10^{-4}$
変調方式	ガン発振器による直接FM変調
最大周波数偏移	カラー4.9MHz (映像負極性)
電 源	AC100V 約50VA

* 日立電子株式会社八王子工場

** 日立製作所中央研究所

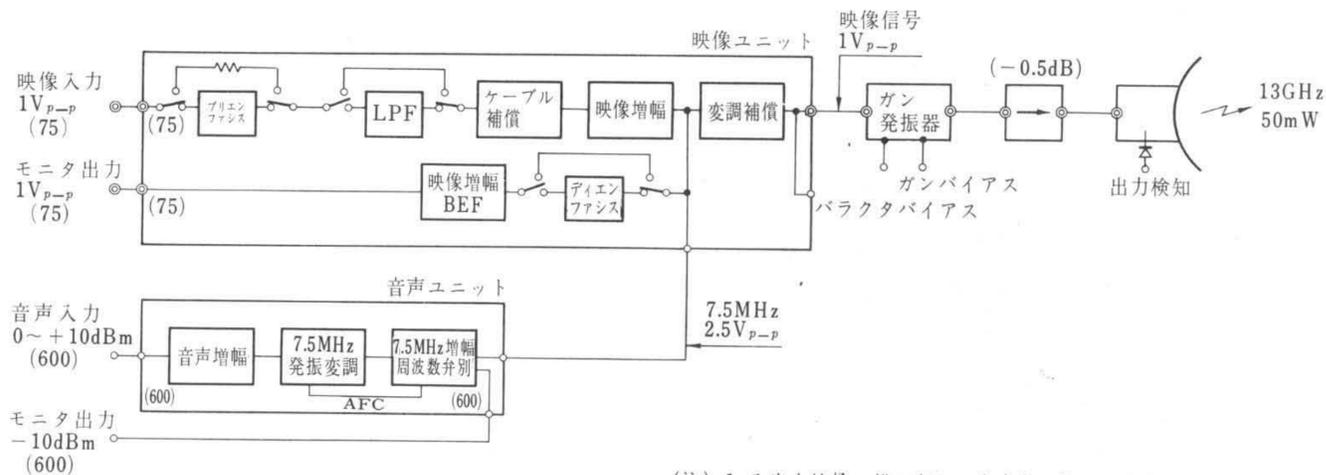


図2 送信装置系統図

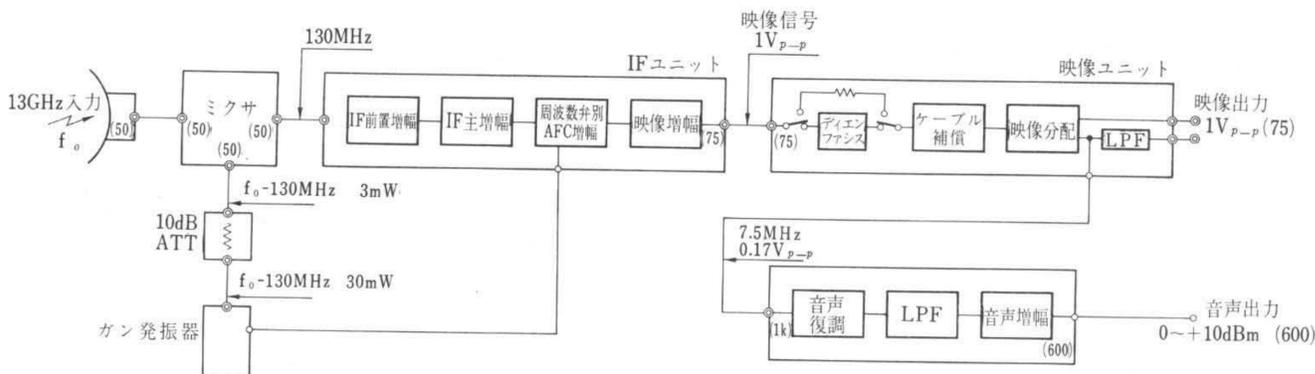


図3 受信装置系統図

- (2) 受信装置
- 受信周波数 12,700~13,250MHzの一波
 - 受信方式 スーパーヘテロダイン方式
 - 雑音指数 10dB
 - 中間周波数 130MHz
 - 電源 AC100V 約50VA

- (3) 構造
- 寸法 送信約170×220×300(mm)
 - 受信約170×220×300(mm)
 - 重量 送信 約8kg
 - 受信 約9kg
- (高周波部と制御部を一きょう体に収容)

3.2 ガン発振器

(1) 送信用ガン発振器

本装置に使用したガン発振器(図4に示す)は映像信号により直接FM変調が可能なバラクタ装荷形で他のマイクロ波ICとの接続を考慮して、出力端子を同軸形とした。図5、図6は変調用バラクタダイオードを導波管内に並列に配置した発振器の構造と特性を示したものである。出力は13GHz帯で55mW、電子同調範囲90MHzが得られた。

共振器の材質は、電気的伝導度、熱抵抗、加工性の面で比較的すぐれているアルミニウム合金を用いている。また熱放散をよくするため、FPU(可搬形テレビ中継機)のきょう体に直接

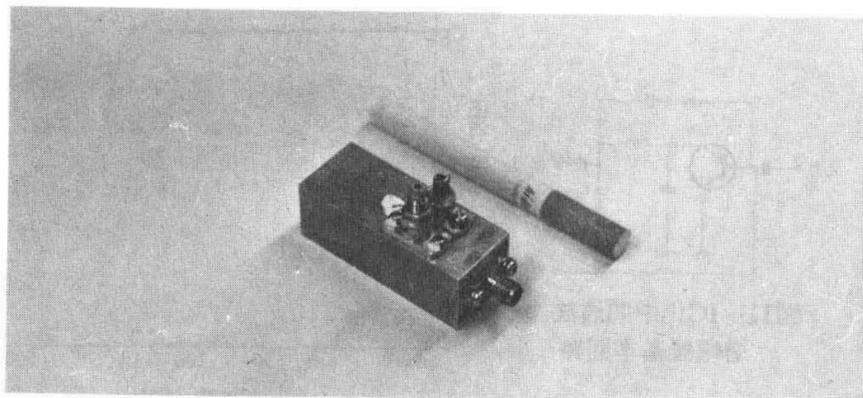


図4 ガン発振器

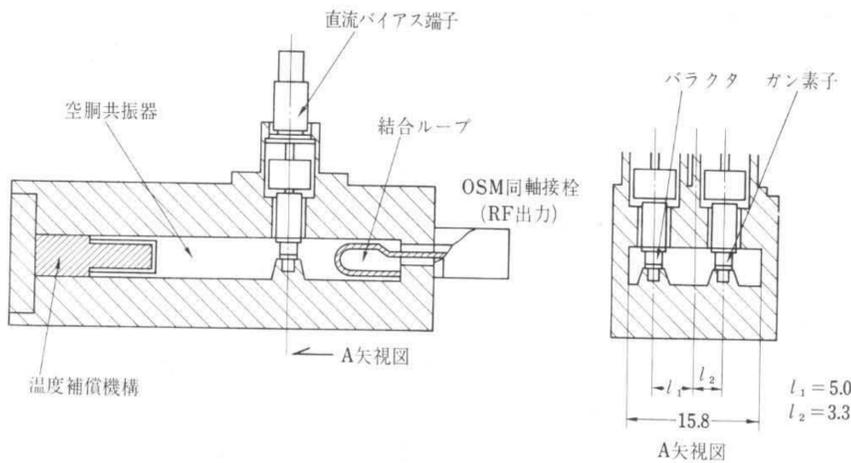


図5 周波数変調用ガン発振器の構造

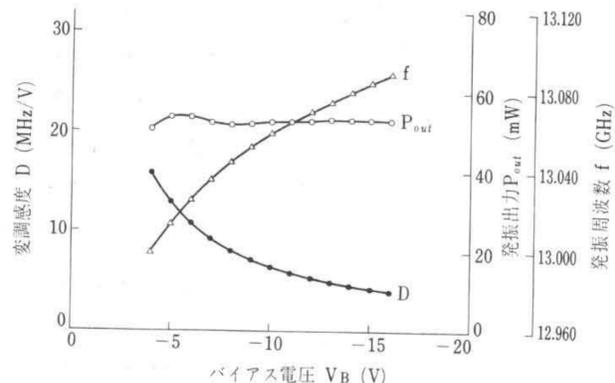


図6 周波数変調用ガン発振器の特性

取り付ける構造とした。マイクロ波発振器として要求される特性は、発振出力、変調特性、雑音特性、周波数安定度、周波数可変範囲などがあり、直接FM変調方式で特に重要なのは雑音特性および変調特性であるが、雑音特性についてはすでに実用化が報告されているので、ここでは、変調特性についてのみ述べる。バラクタダイオードを発振回路の容量 C_0 と並列になるように装荷したとき $C_V \ll C_0$ とすると発振周波数は次式で与えられる⁽¹⁾。

$$f = f_0 \left\{ 1 + \frac{C_V}{2C_0} \right\} \dots (1)$$

$$C_V = \frac{C_{j0} \cdot V_Z^N}{(V_Z - V_B)} \dots (2)$$

ここに、 V_B : 接合部に加えらるる電圧
 C_V : バラクタの実効容量
 C_{j0} : 零バイアス時の容量
 V_Z : 接合部の接触電位
 N : こう配の係数

f_0 は $C_V=0$ のときの発振周波数であり、バイアス電圧 $-V_0$ に対する周波数変調感度は

$$\frac{df}{dV_B} = \frac{f_0 \cdot C_{j0}}{2C_0} \cdot \frac{NV_Z^N}{(V_Z + V_0)^{1+N}} \dots (3)$$

となり、接合容量のバイアス電圧依存性がそのまま変調特性に表われる。このときの変調微分特性のバイアス依存性を求めると

$$\frac{D - D_0}{D_0} = \frac{(1 + N) \Delta f}{D_0} \cdot \frac{(V_Z + V_0) N}{(V_Z + V_0)^{1+N}} \dots (4)$$

ここに D_0 はバイアス電圧 V_0 における(3)式で与えられる微小信号変調感度である。(4)式より変調微分特性は、変調感度が

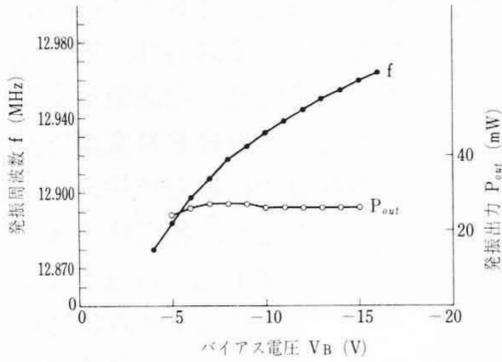


図7 受信用ガン発振器の特性

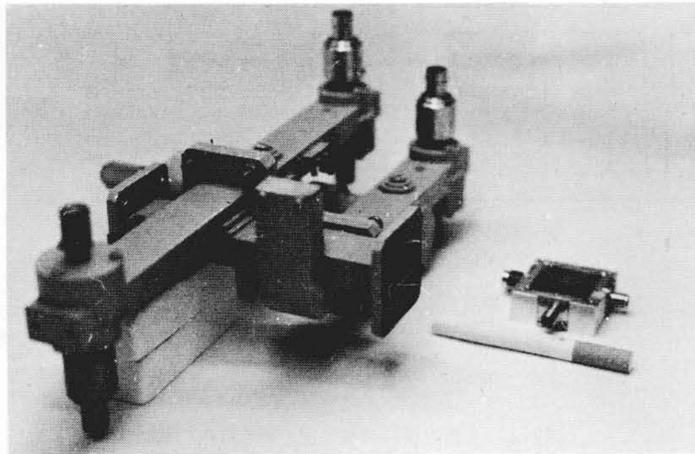


図8 マイクロ波ICミキサ

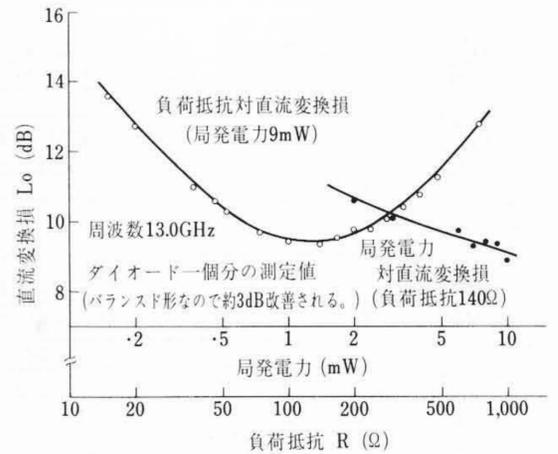


図9 試作ICミキサの直流変換損測定結果

大きく、バイアス電圧を浅くしたときに改善される。

実際に図6の変調感度特性より微分利得(DG)を算出すると8%となり、カラー分析器による測定値とほぼ一致している。本装置の設計仕様は1%なので後述の補償回路により補償を行なった。

(2) 受信用ガン発振器

受信用ガン発振器は発振出力が10~30mWと少ないが構造、外形は全く送信用と同じで、バラクタバイアス端子にAFC増幅器の出力を接続することにより簡単にAFCをかけることができる。この場合従来のガンバイアスでAFCをかける方式に比べ低電力ですむ利点がある。

また本発振器は空洞の一端を可動短絡板で構成し、この短絡板を誘電体の熱膨張で動かすことにより温度補償⁽¹⁾が行なわれており、温度係数185kHz/°C以下を得ている。図7は受信用ガン発振器の特性を示したものである。

3.3 マイクロ波ICミキサ

マイクロ波発振器は前述のようなガン発振器が開発されたことにより、電源系も含めて従来の固体化方式に比べ非常に小形化された。これにより発振器以外のマイクロ波回路にも小形化が強く要求されるようになってきた。これにこたえる回路方式として導波管などの立体回路に代わりストリップ線路を基本として構成されたマイクロ波ICがある。

これは誘電体基板上に、薄膜状の導体でストリップ線路を基本とした回路を構成し、これにダイオードなどの部品を接続するハイブリッド形のマイクロ波ICであり、導波管回路に比べ数十分の一以下に小形化される。

今回、このマイクロ波IC技術を用いて受信用ミキサをIC化した。ミキサについて検討する前に、マイクロストリップ線路の伝送損失につき検討を加える。この損失は薄膜導体の抵抗損、誘電体基板の損失および放射損失に分けられる。これらは導体の導伝率や誘電体損失などの材料特性のほか線路の構造、導体の厚み、パターンの切れ味および基板の表面精度などにも影響を受ける。したがって伝送損失の少ない線路を得るには、材料の選定のみならず製作技術面にもじゅうぶん留意しなければならない。今回の試作には0.6mm厚のサファイア基板を使用した。ストリップ線路にはしゃへい形マイクロストリップ線路を採用し、放射損失の低減を図った。また導体に対しては基板との密着性を上げるため最初クロムを約1,000Å蒸着し、その上に銅を3μ蒸着し、さらにその上に導体の酸化などによる劣化を防ぐため約1μの無電解めっきを施した。このようにして作成したストリップ線路の13GHz帯における損失は、特性インピーダンス50Ωの場合約10dB/mであり実用上じゅうぶんな性能が得られた。このストリップ線路を用いて試作したミキサは図8のように導波管ミキサに比べ体積比で1/10以下となっている。また各端子が一平面上にあるため装置全体の小形化にも大いに効果がある。

本ミキサは25mm×25mmのサファイア基板上に平衡形回路で構成されており、ビームリードのシリコンショットキーバリアダイオード(シルバニア社製D5600A形)を2個使用したものである。このミキサの直流変換損失の測定結果は図9に示すとおりである。実際に雑音指数2.5dBの中間周波増幅器を使用した総合の雑音指数は9.5dBであった。

3.4 回路のIC化

(1) IC化中間周波増幅器

従来の中間周波増幅器は帯域増幅形のものであったが、本装置においては、1段あたり約8dBの利得を有する。広帯域厚膜ICを11段縦続接続することにより規定の利得を得ており、周波数特性は前置増幅部とリミッタ出力にそれぞれ配置された帯域フィルタにより決定する。集中フィルタ方式を採用している。レベルダイヤは図10に示すとおりである。

(a) IC化広帯域増幅器

中間周波増幅器に使用された2種類の厚膜ICは、今回新しく開発したもので、用途に応じ表1に示す利得およびNFを有している。基本回路および周波数特性は図11、12に示すとおりである。

本ICはセラミック基板上に抵抗を印刷し、その上からチッ

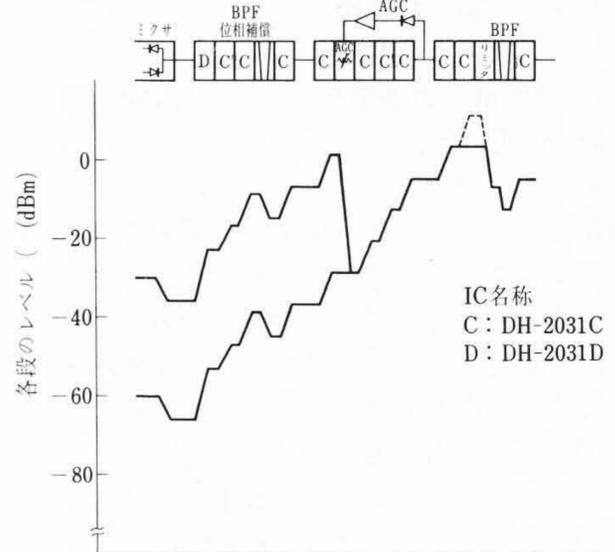


図10 IC化中間周波増幅器レベルダイヤ

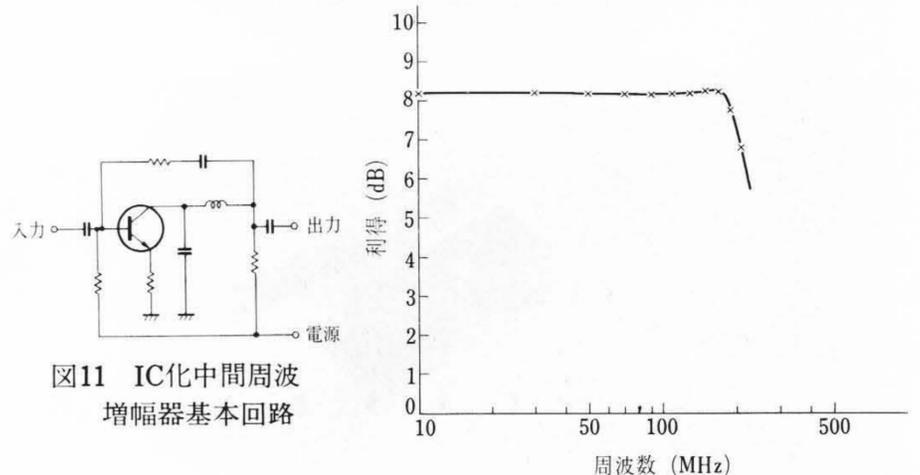


図11 IC化中間周波増幅器基本回路

図12 IC化中間周波増幅器周波数特性

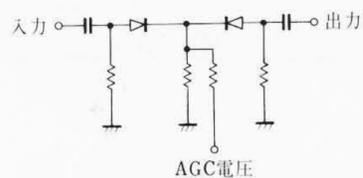


図13 ダイオード形AGC基本回路

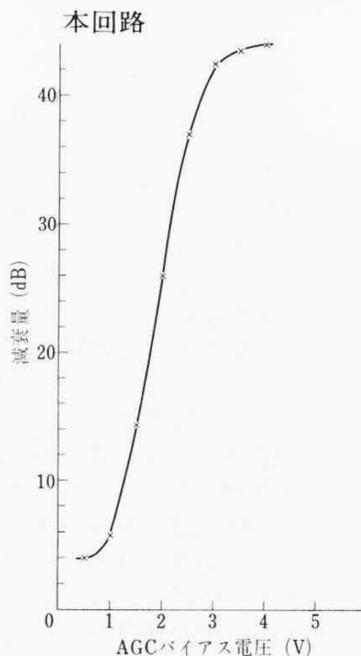


図14 ダイオード形AGC減衰特性

表1 IC化広帯域増幅器特性

IC形名	利得	N F
DH-2031C	8 dB	9 dB
DH-2031D	13dB	1.5dB

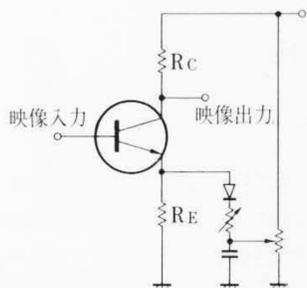


図15 変調補償回路

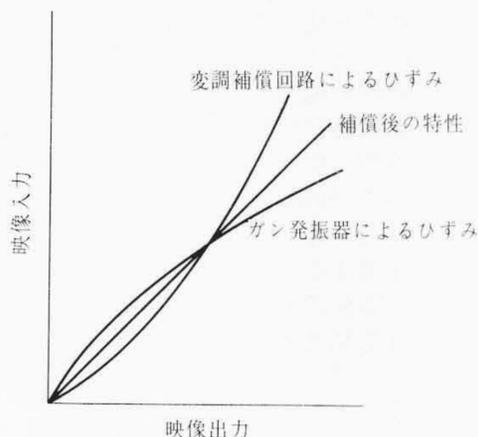


図16 変調補償の概要

プロコンデンサ、トランジスタ、ガラストリマを取り付けたもので、モールド材としてはエポキシ樹脂を使用し、さらにモールド材と部品間の緩衝材としてシリコーンゴムを使用している。

(b) AGC

従来利得調整にはエミッタ電流可変形AGCが使われていたが、本中間周波増幅器においては利得可変範囲が大きく、特性変化の少ないダイオードAGCが使用されている。さらに接合容量の小さいシルバード型のダイオードの使用により、帯域特性をほとんど変化させることなく利得制御範囲40dBを得ている。基本回路およびAGC特性は図13、14に示すとおりである。

(2) IC化映像増幅器

本装置の特殊性から考え多段中継に使用する場合が多いと考えられるため、特に次の3点に留意して設計した。

- (a) 方形波特性
- (b) バース特性
- (c) カラー特性

方形波特性(特にオーバシュート)については音声副搬送波を阻止するフィルタが問題となるが、ポード形フィルタの採用により総合のオーバシュート9%を得た。この値は従来の帯域阻止ろ波器(BEF)を使用した値15%に比較すると大幅に改善されている。

バース特性については直結増幅器の大幅採用により総合バース20%以下を得ている。

(3) 変調補償回路

先に述べたように現在送信用ガン発振器の微分特性は約8%あり、これをなんらかの方法で補償する必要がある。ガン発振器側での補償も種々検討されているがまだ実用段階に達しておらず、今回は映像回路側で補償することにした。補償回路の基本回路は図15に示すとおりである。これはダイオードのインピーダンスが映像信号のレベルによって変化することを利用したもので補償の概要は図16に示すとおりである。

4. 総合特性

本装置の主要性能は表2に示すとおりで設計仕様をじゅうぶんに満足している。

表2 13GHz TV中継装置主要性能

項目	設計仕様	測定値	
送信出力	50mW以上	55mW	
周波数安定度	$\pm 5 \times 10^{-4}$ 以下	$\pm 2.8 \times 10^{-4}$	
雑音指数	10dB以下	9.5dB	
映像特性			
周波数特性	40~4.5MHz ± 1 dB以下 (100kHz基準)	40~4.5MHz ± 0.5 dB	
信号対雑音比	55dB ^(P-P/rms) 以上 (4.5MHzに映像帯域を制限して)	55dB ^(P-P/rms)	
微分位相	1°以下	0.8°	
微分利得	1%以下	0.7%	
リグ	1%(60Hzの方形波入力)	0.5%	
オーバシュート	12%(250Hzの方形波入力)	9%	
立上り時間	0.1 μ s以下(250kHz、立上り時間0.05 μ sの方形波入力)	0.08 μ s	
バース	30%	20%	
音声特性			
周波数特性	50Hz~10kHz ± 1 dB以下 (400kHz基準)	50Hz~10kHz ± 0.5 dB以下	
ひずみ率	50Hz~10kHz 1.5%以下	0.5%以下	
信号対雑音比	-55dB以下	-63dB	
消費電力	(送信)	50VA以下	約50VA
	(受信)	50VA以下	約50VA
概略重量	(送信)	10kg以下	約8kg
	(受信)	10kg以下	約9kg
寸法(送信, 受信)	170×220×300(mm)		

5. 結 言

以上述べたガンダイオードならびにMICを使用した13GHzテレビ中継装置は所期の設計仕様をじゅうぶん満足する値を得ることができた。本装置を従来の7GHz固体化FPUと比較すると、

- (a) ガン発振器、マイクロ波ICの採用およびその他回路のIC化により小形、軽量化が可能となり従来に比べ大きさ、重量とも約1/4とすることができた。
- (b) 大幅な回路の簡素化により、部品点数の大幅減少および消費電力の低減が可能となり、特に送信装置の消費電力は約1/2となった。

以上のような利点があり今後、固体化中継機の利用はますます盛んになるものと思われる。現在のところガン発振器の出力が従来の通倍チェーンを使用した装置に比べ、若干劣っているため、特殊中継用として使用されているが、すでに高出力ガン発振器が開発されており、今後これらが早急に製品化され標準FPUへ導入されることが課題となるであろう。

最後にこの装置を製作するにあたり、終始親切なご指導をいただいた日立製作所中央研究所および日立電子株式会社関係各位に深謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 日笠ほか：日立評論 50, 1038 (昭43-11)
- (2) 渋谷ほか：マイクロウェーブ伝播解説 コロナ社 (昭43-10)
- (3) 鈴木ほか：トランジスタ高周波回路 日刊工業 (昭43-7)