

カラーテレビ受信機映像中間周波増幅器用半導体集積回路

Monolithic Integrated Circuits Designed for Color TV Video IF Amplifiers

三 和 一 朗* 越 智 鹿 之**
Ichirō Miwa Shikayuki Ochi

大 村 義 人** 小 沢 時 典**
Yoshito Ōmura Tokinori Kozawa

要 旨

カラーテレビ受信機の映像中間周波増幅器を集積回路化するに際しての最適回路方式の考察を行なった結果、価格の面より増幅器全体を一個の集積回路を用いて構成すること、回路の安定性の面より直結形広帯域増幅回路方式とすること、利得帯域幅積および自動利得制御方式の面よりカスコード形増幅回路とすることなどが望ましいことを示した。この考察をもとに1チップで、低周波利得80dB、3dB遮断周波数30MHz、60MHzにおける同調増幅器としての利得65dB、利得制御範囲50dB、無ひずみ許容最大入力電圧300mVrms、無ひずみ最大出力電圧3Vrmsなる特性を有する半導体集積回路を試作し、これを市販受信機に実装したところ、真空管式に比べ遜色のない画像が得られ、これにより、1チップによるカラーテレビ受信機映像中間周波増幅器の半導体集積回路化の可能性を確認することができた。

1. 緒 言

軍用電子機器の超小形化、高信頼化を目的として誕生した集積回路(以下ICと略記)は、その製造技術の進歩、需要の増大、低価格化、高性能化など各要素の好ましい相互作用のもとに電子計算機をはじめとする産業用電子機器に広く使用されるようになり、ついにその価格は民生用機器に使用しうるまでになった。そして民生用機器の有する膨大な需要によりICはさらに低価格になり、電子機器需要面に占める比率を増加するとともに、その特長を生かした新しい需要面を開拓していくものと考えられる。

さて、カラーテレビ受信機は今後の民生機器需要の主要部を占めるものと考えられ、またそこに用いられる電子回路の機能は各種民生機器の中でもっとも高いものといえよう。一方、ICとくに本文で対象とする半導体ICにおいては、1個のICに含まれる素子の個数がICの価格にほとんど影響しないので、IC内に含まれる素子数が多くなるほど、すなわち一般的にいって、ICの機能が高くなるほど、素子(あるいは機能)当たりの価格は低減される。したがって、高い電子回路機能をもった機器ほどIC化による低価格化(同一機能における)、あるいは高機能化(同一価格における)の効果が得られる可能性が強く、この意味でカラーテレビ受信機はIC化に適した機器であり、また将来ICが導入されなければならない機器といえよう。

図1はカラーテレビ受信機回路のブロックダイアグラムを示すもので、図において二重わくで囲んだ部分が現在IC化可能と考えられる部分である。受像管を駆動する出力回路部(水平、垂直、映像、色度の各出力部)は、耐圧の点より考えて、IC化は現在不可能であろう。音声中間周波増幅・復調・音声前置増幅部については、すでにHA1103M(日立)が市販されている。本文では、これらIC化可能な部分の中で映像中間周波増幅器(以下VIFAと略記)に使用するICについて述べることにする。

現在市販されているリニヤICでVIFAに使用可能なものとしてはCA3004、CA3005(RCA)、MC1550(モトローラ)、PA7600(フィルコ)などがある。前の三者はいずれも従来の個別トランジスタ1個分の機能がそのバイアス回路とともに集積されたものにすぎない。したがってこれらを用いてVIFAを構成するには従来回路に使用されているトランジスタとほぼ同数のICを必要とする。PA7600

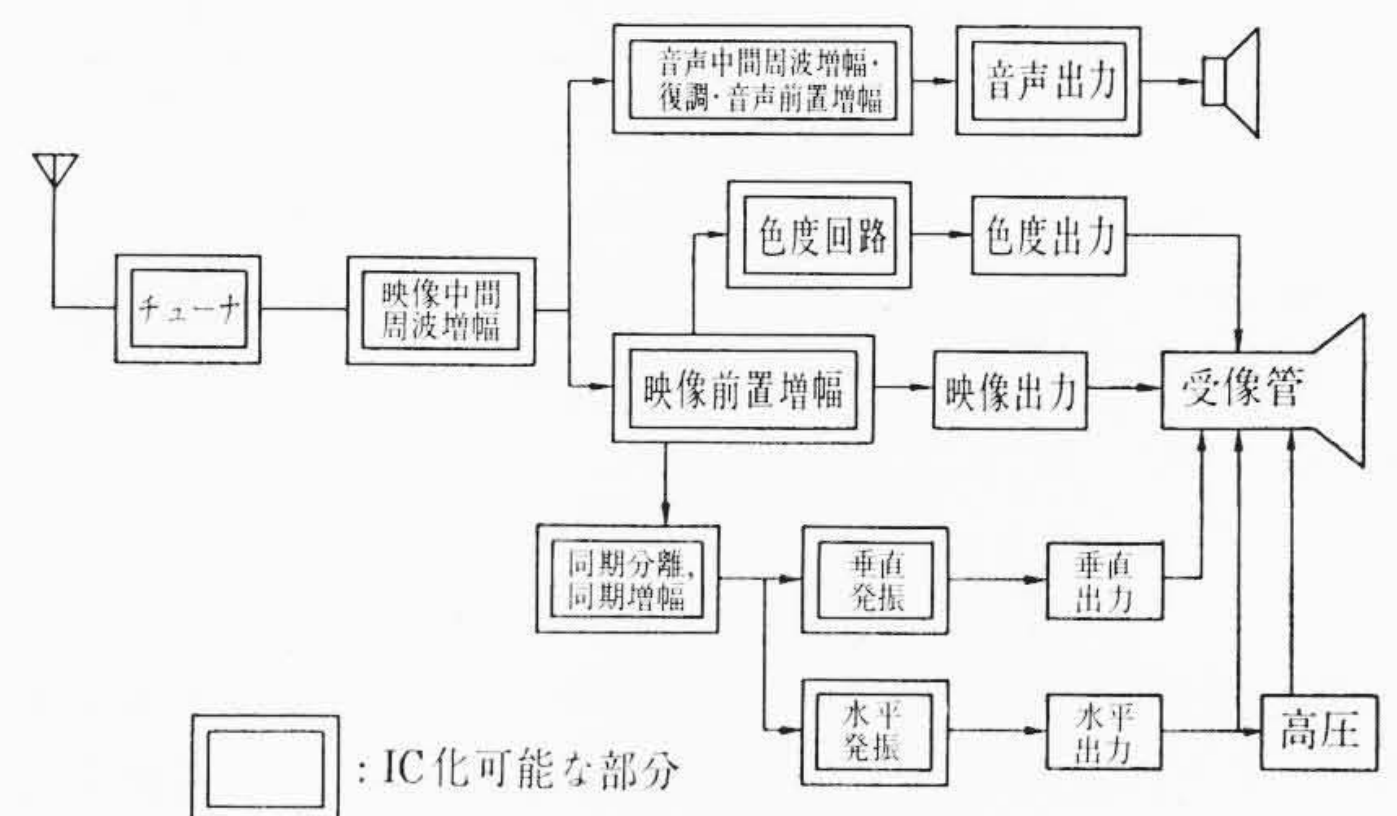


図1 カラーテレビ受信機のブロックダイアグラム

はこれらより若干機能が高く、周波数60MHzにおいて電力利得40dBの性能を有するが、これでもVIFAには2個使用する必要がある。一方前述のようにIC化の効果を発揮させるには、IC当たりの機能を高くするほどよいので、このように2個以上のICを、VIFAという一機能を行なうのに用いることは、決してICの特長を生かした用い方ではない。このように考えると、真にIC化の効果を期待しうるVIFA用ICは現在いまだ発表されていないといえよう。

本文においては、カラーテレビ受信機VIFA用ICの設計についての考察と、それに基づいて作られた半導体ICの特性について述べる。

2. IC化映像中間周波増幅器の構成方式の検討

ろ波器のIC化は現在不可能であるから、これをICに外付けすることとすると、ICを用いたVIFAの構成方式としては図2に示すような4方式が考えられる。

図2(a)はトランジスタ1個およびその周辺のバイアス回路を、1個のICで置き換えた形式を示しており、これを複数IC段間同調方式と呼ぶことにする。本方式においては各段のICの出力容量を個々に同調除去できるので、後述の広帯域増幅形式では利得低下がおこる高周波領域においても高利得が得られることが期待できる。しかしこの方式は価格の点からICの長所を十分に活用した方式であるとはいえない。

図2(b)に示す複数IC広帯域増幅方式は上記方式における段間同調回路を省略し、増幅部を広帯域増幅器とし、ろ波器を入出力端に集中せしめた形式である。同図では段間結合にコンデンサを用いてあるが、変成器結合にしてもよいし、またICの入出力端子間の

* 日立製作所中央研究所 工学博士

** 日立製作所中央研究所

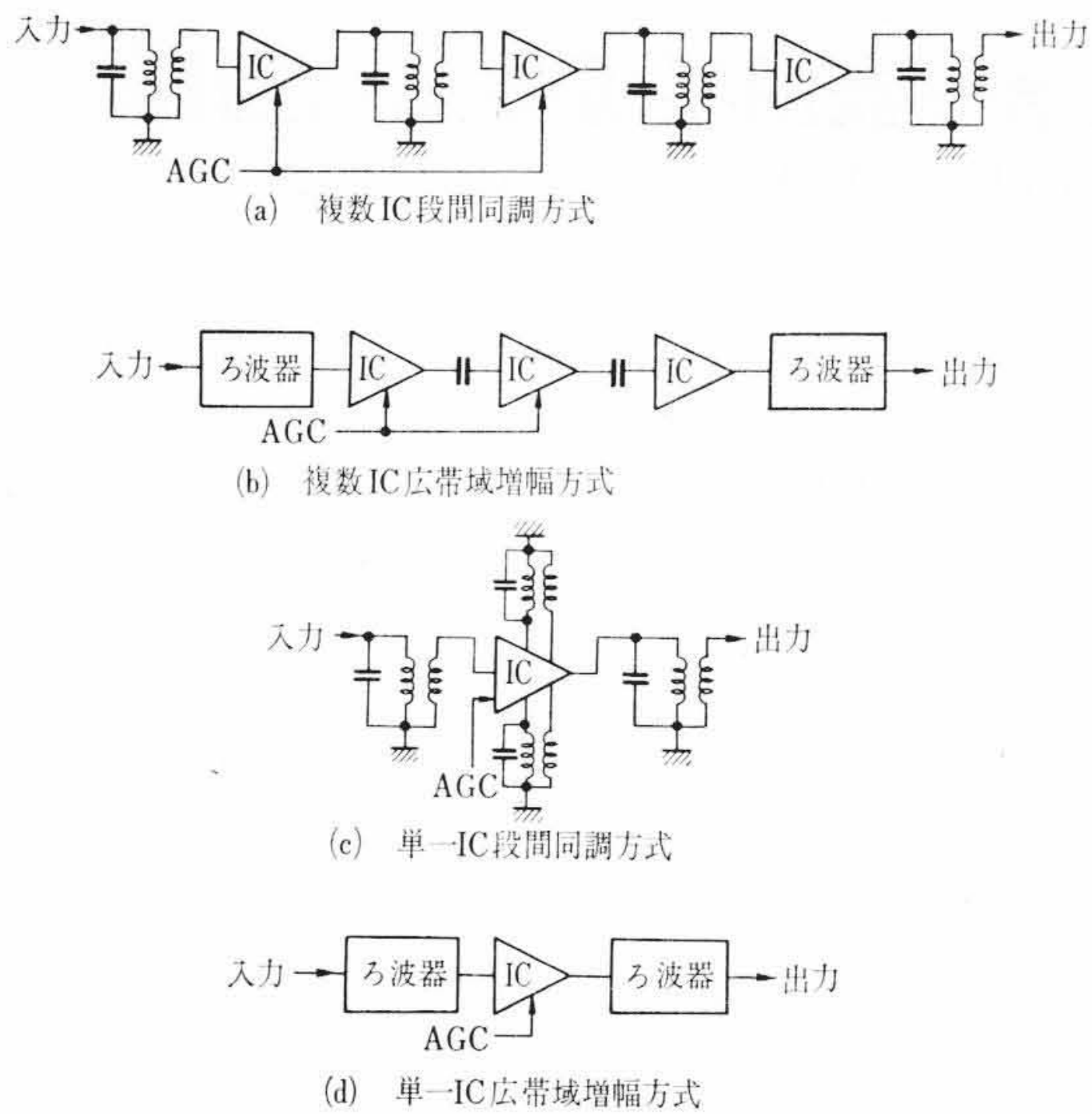


図2 IC化映像中間周波増幅器の諸方式

表1 映像中間周波増幅器用ICの目標特性

項 目	特 性
電 圧 利 得	周波数 60 MHz において 65dB
無ひずみ最大出力レベル	負荷 1 kΩ に対し映像キャリア 3 V rms
無ひずみ最大入力レベル	映像キャリア 300 mV rms
A G C 範 囲	50 dB

直流電圧レベルシフトを考慮すれば直結することもできる。本方式ではICの出力容量による高周波における利得低下を補償することができず、このため同一周波数で比較すると、本方式に使用するICは前記段間同調方式に使用するICに比べて出力容量の小さい(パターン加工精度の高い)ことが要求される。しかし調整の容易さという点で本方式がすぐれている。

前にも述べたように、価格の点からはICの集積度を高め、前記の方式における複数のICを1個に集積することが望ましい。これを単一IC方式と呼ぶことにする。図2(c)に示す単一IC段間同調方式では、段間に同調回路をそう入するため、ICから多数の信号端子を引き出す必要がある。このときこれらのきわめて近距離にある信号端子間の相互結合により動作が不安定になりやすい。このためVIFAのような高周波高利得の増幅器ではこの方式の実用化はほとんど不可能であろうと思われる。

図2(d)に示す単一IC広帯域増幅方式においては、段間結合を容量結合する方式と直接結合する方式が考えられる。前者の場合、その結合コンデンサをIC内部に集積すると、コンデンサのICチップにおける占有面積が大となるため、ICの価格を増加せしめ、また集積度も高めることができない。また結合コンデンサを外付けすると、そのための信号端子間の結合のため上述のように動作が不安定になりやすい。したがって本方式におけるICとしては後者の直結形式を採る必要がある。

以上のことより、VIFA用半導体IC方式としては、単一IC直結広帯域増幅方式がもっとも有望な方式と考えられる。

3. 映像中間周波増幅器用ICの特性目標

現在市販のカラーテレビ受信機におけるVIFAの性能を参考とすれば、ICの特性目標は表1のように定められる。

テレビ受信機における映像中間周波数はアメリカでは44 MHzであり、国内では現在25 MHzであるが将来57 MHzに移行する可能

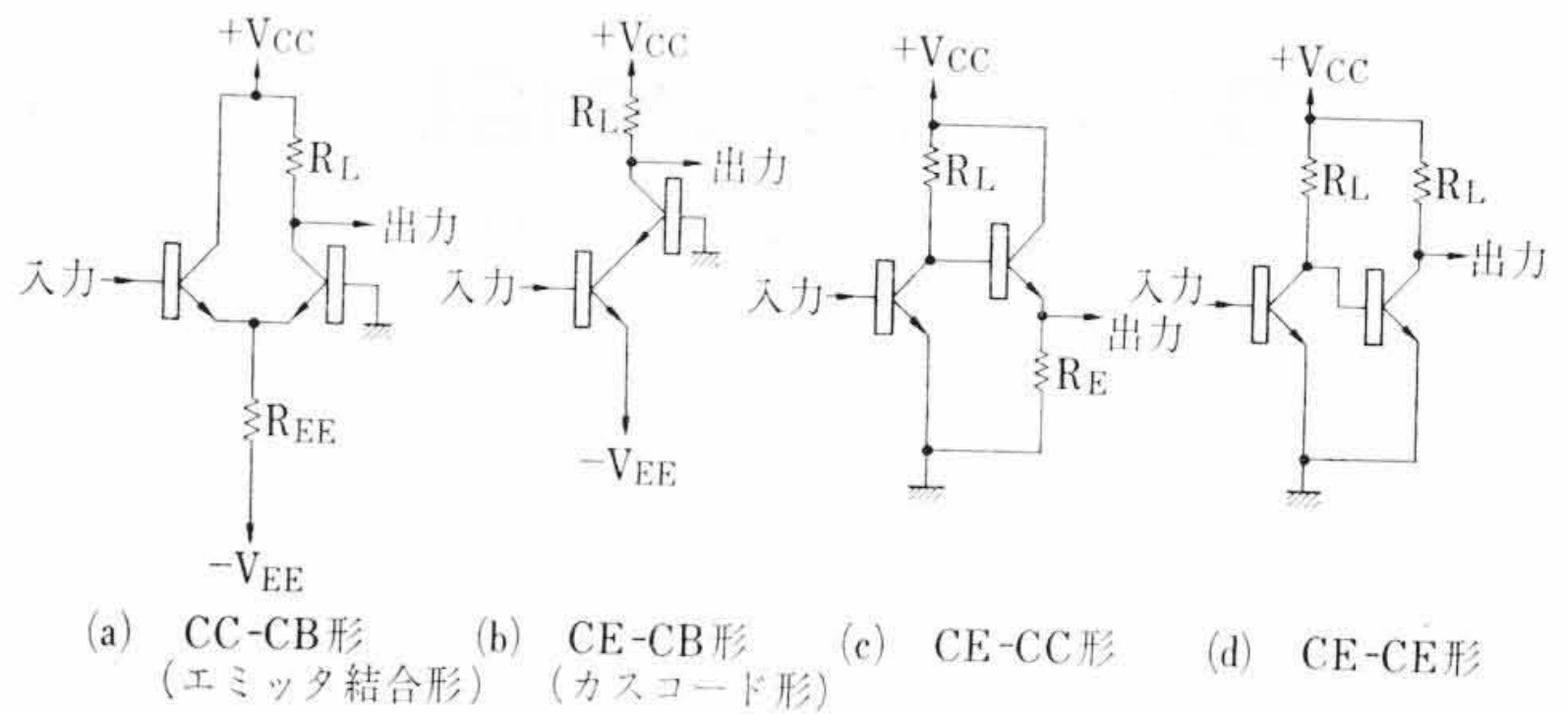


図3 トランジスタ増幅回路形式

性が大である。したがって、周波数に関しては57 MHz帯をも考慮しておく必要がある。

非直線ひずみについてはVIFAと映像検波回路総合で微分利得2 dB以下を目標とする。検波回路には現在の受信機的方式をそのまま用いることにすれば、前記微分利得特性を満足するためにはVIFA出力3 V rmsが要求される。許容最大入力電圧300 mV rmsは現在のテレビ受信機チューナの自動利得制御能力から要求される値である。

4. 直結広帯域増幅回路形式の比較検討

直結広帯域増幅回路にも各種の形式がある。通常用いられる形式を図3に示す。(a) CC-CB形(エミッタ結合形)、(b) CE-CB形(カスコード形)、(c) CE-CC形、(d) CE-CE形の4形式である。CCはコレクタ接地(Common Collector)、CBはベース接地(Common Base)、CEはエミッタ接地(Common Emitter)増幅回路を表わしている。本章ではVIFA用ICに用いるという観点からこれら各種増幅回路形式の比較検討を行なう。ここでは2段連続接続回路について述べるが、一般にはこの2段連続接続回路が単位となり、これが反復連続されることになる。

4.1 利得帯域幅積についての比較検討

まず上記増幅回路形式の利得帯域幅積について解析し、比較検討する。解析においては、2個のトランジスタは同一特性でかつ同一動作点にバイアスされているものとする。

CC-CB形、CE-CB形およびCE-CC形の電圧利得遮断周波数は主として出力側の負荷抵抗および静電容量により決定され、それらの電圧利得帯域幅積は下の(1)~(3)式で与えられる。

CC-CB形：

$$\frac{1}{G_{v0} \cdot \omega_c} = 2r_e \left\{ \left(1 + \frac{r_b'}{2r_e} \right) C_{TC} + C_{TS} + \frac{1}{3} C_{TR} + \frac{r_b'}{R_L} \cdot \frac{1}{r_e \omega_T} \right\} \quad \dots\dots (1)$$

CE-CB形：

$$\frac{1}{G_{v0} \cdot \omega_c} = r_e \left(C_{TC} + C_{TS} + \frac{1}{3} C_{TR} + \frac{r_b'}{R_L} \cdot \frac{1}{r_e \omega_T} \right) \quad \dots\dots (2)$$

CE-CC形：

$$\frac{1}{G_{v0} \cdot \omega_c} = r_e \left\{ \left(2 + \frac{r_b'}{r_e} \right) C_{TC} + C_{TS} + \frac{1}{3} C_{TR} + \frac{r_b'}{R_L} \cdot \frac{1}{r_e \omega_T} \right\} \quad \dots\dots (3)$$

ここに、 G_{v0} ： 低周波における電圧利得

ω_c ： 3 dB 角周波数帯域幅

であり、 r_e 、 ω_T 、 C_{TC} 、 C_{TS} 、 r_b' はトランジスタの等価回路定数で

r_e ： エミッタ動抵抗

ω_T ： 特性角周波数

C_{TC} ： コレクタ接合容量

C_{TS} ： 分離接合容量

r_b' ： ベース抵抗

表2 増幅回路形式と高周波利得

増幅形式		CC-CB	CE-CB	CE-CC	CE-CE
電圧利得 (dB)	1 MHz	32	38	38	76
	25 MHz	28	35	33	49
	57 MHz	23	31	27	36

計算に用いた定数は下記のとおり

$$C_{TC}=1\text{ pF}$$

$$C_{TS}=2\text{ pF}$$

$$C_{TR}=2\text{ pF}$$

$$r_e=13\Omega$$

$$r_b'=50\Omega$$

$$f_T=500\text{ MHz}$$

$$R_L=1\text{ k}\Omega$$

である。また

 R_L : 負荷抵抗 C_{TR} : R_L の分布容量

である。

上記3形式においては、映像中間周波数程度の周波数までを考慮するときは、その利得対周波数特性は一次遅れの系で近似することができ、したがって高周波特性の良さを利得帯域幅積で表わすことができる。一方、CE-CE形は二次遅れの系であって、映像中間周波数付近で利得は周波数の2乗に逆比例する。それゆえ、CE-CE形では利得帯域幅積は意味がなく、高周波利得を次式のように与えて解析に用いなければならない。

CE-CE形:

$$\frac{1}{G_v} = j\omega C_{TC} r_e \left\{ 1 + j\omega R_L \left\{ \left(1 + \frac{r_b'}{r_e} \right) C_{TC} + C_{TS} + \frac{1}{3} C_{TR} + \frac{r_b'}{R_L} \cdot \frac{1}{r_e \omega T} \right\} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

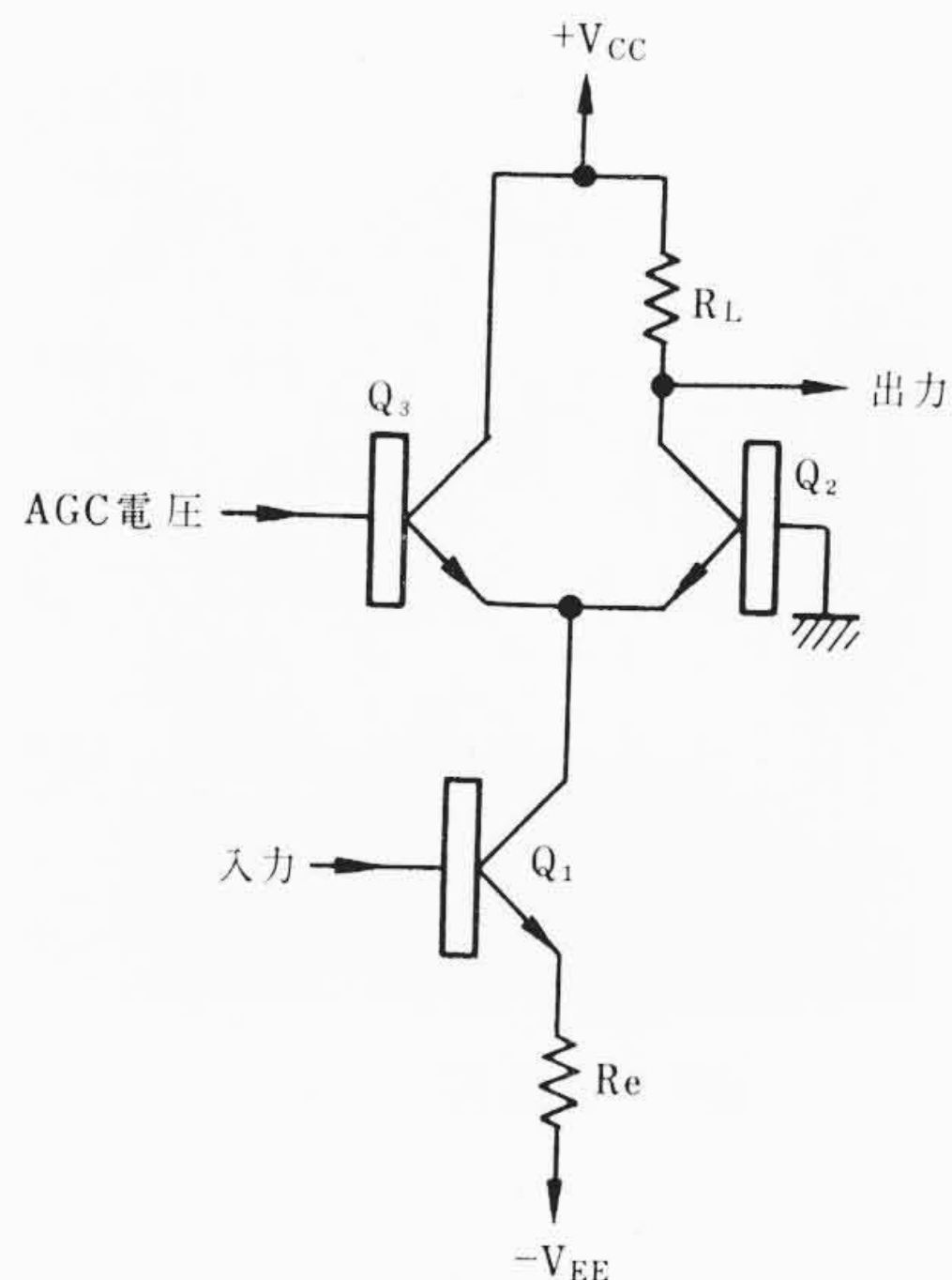
上述の各種増幅形式間の優劣を明確にするため、(1)式～(4)式を用いて映像中間周波数 25 MHz および 57 MHz における利得を算出した一例を表2に示す。ここに用いた諸定数は同表の下部に記したとおりであって、これらは現在のICプロセス技術により作りうる素子定数の平均的な値と考えられる。表2より映像中間周波数帯における利得はCE-CE形が最大であることがわかるが、本方式は後述する理由からVIFA用ICの回路方式には不適當である。そこでCE-CE形を除くと、表2より利得帯域幅積の点から、CE-CB形がもっともすぐれていることがわかる。

CE-CE形の欠点は、まず映像中間周波数帯における利得低下率が12 dB/oct. と大きいこと、VIFA用ろ波器の設計調整が複雑になることである。また映像中間周波数帯で所要の利得65 dBを得ようとすると低周波における利得がはなはだしく大となり、雑音により増幅器が飽和するおそれがある。これを避けるため負帰還をほどこし低周波における利得を低下せしめる必要があるが、CE-CE形は位相推移が大であるため安定に負帰還を施すのに技術的困難をともなう。

4.2 大振幅特性

VIFAにおいては表1にも示したように、強電界地域における受信を考えて、無ひずみ最大入力レベルを大きくとる必要があり、また検波ひずみを小さくするため大きい無ひずみ最大出力レベルが要求される。前者はトランジスタのベース・エミッタダイオードの非直線性によるひずみにより、後者はトランジスタが飽和領域あるいは破壊電圧領域まで駆動されることにより生ずるひずみによっておにも制限される⁽¹⁾。

まずベース・エミッタダイオードの非直線性によって制限される最大許容入力電圧は上記4形式についてほぼ同一であり、この値は約20 mVrmsである。しかしエミッタ回路に直列抵抗 R_e をそう入することにより許容最大入力電圧を大きくすることができる。したがって利得制御を行わない固定利得増幅段における許容最大入力電圧はこの方法により目標特性を達成するまで大きくすることができ

図4 カスコード増幅回路におけるAGCの一方式⁽²⁾

る。しかしながらVIFAでは入力の印加される初段で自動利得制御(AGC)が行なわれる。この利得制御が行なわれる増幅段について考えると、トランジスタ増幅器において通常行なわれているリバースAGC方式では、エミッタ直流電流 I_E によるエミッタ動抵抗 r_e の変化を利用しているため、上記のように R_e をそう入しても、入力信号レベルが大となり、大きなAGC電圧が印加された状態では R_e に比較して r_e が大となり R_e の効果は小さくなる。すなわち、 R_e による無ひずみ最大入力電圧増大の効果はないことになる。

一方、カスコード形式においては図4に示すようなAGC方式の発表がなされている⁽²⁾。本方式においては、AGC電圧によりトランジスタ Q_1 から流出する信号電流の Q_2 および Q_3 への分流比を変化し利得制御を行なう。この方式では Q_1 のバイアス電流は利得制御状態に無関係に一定であるため、前記の R_e による無ひずみ最大入力電圧増大は有効である。なお Q_1 を見込んだ入力インピーダンスもAGC状態に無関係であり、入力側のろ波器特性がAGCにより変化しないという長所もある。

次に、無ひずみ最大出力電圧は、出力段の電源電圧利用率により優劣がきまるが、適当な直流レベルシフト回路を用いれば前記4形式間で大差はない。

4.3 直結回路構成の難易

多段直結増幅器においては、直流動作点の安定化および増幅器入出力間の直流電圧レベルシフトの補正が問題となる。この点、回路構成としては古くから直流増幅器に使用されているCC-CB形が使いやすい⁽³⁾。しかし、AGC電圧の変化による直流動作点の変動は直結回路構成に共通の問題点であり、それを考えるときは前記4回路形式間に優劣の差はつけにくい。

以上の検討より、CE-CB形(カスコード形)がVIFA用ICの基本回路としてもっとも適した回路構成であるといえよう。

5. 映像中間周波増幅器用ICとその特性

単一IC広帯域増幅形式のVIFAに使用するためのICとして、カスコード回路を基本回路とするICを試作し、その実用性について検討した。このICの外観写真を図5に示す。

このICの電圧利得対周波数特性を、AGC端子に制御電圧を印加したときの利得低減をパラメータとして図示すれば図6のようになる。ただし負荷抵抗は1 kΩである。最大利得状態では、低周波利得80 dB、3 dB帯域幅30 MHzである。60 MHzにおける利得は約60 dBであるが、出力容量(約5 pF)を同調除去することにより65

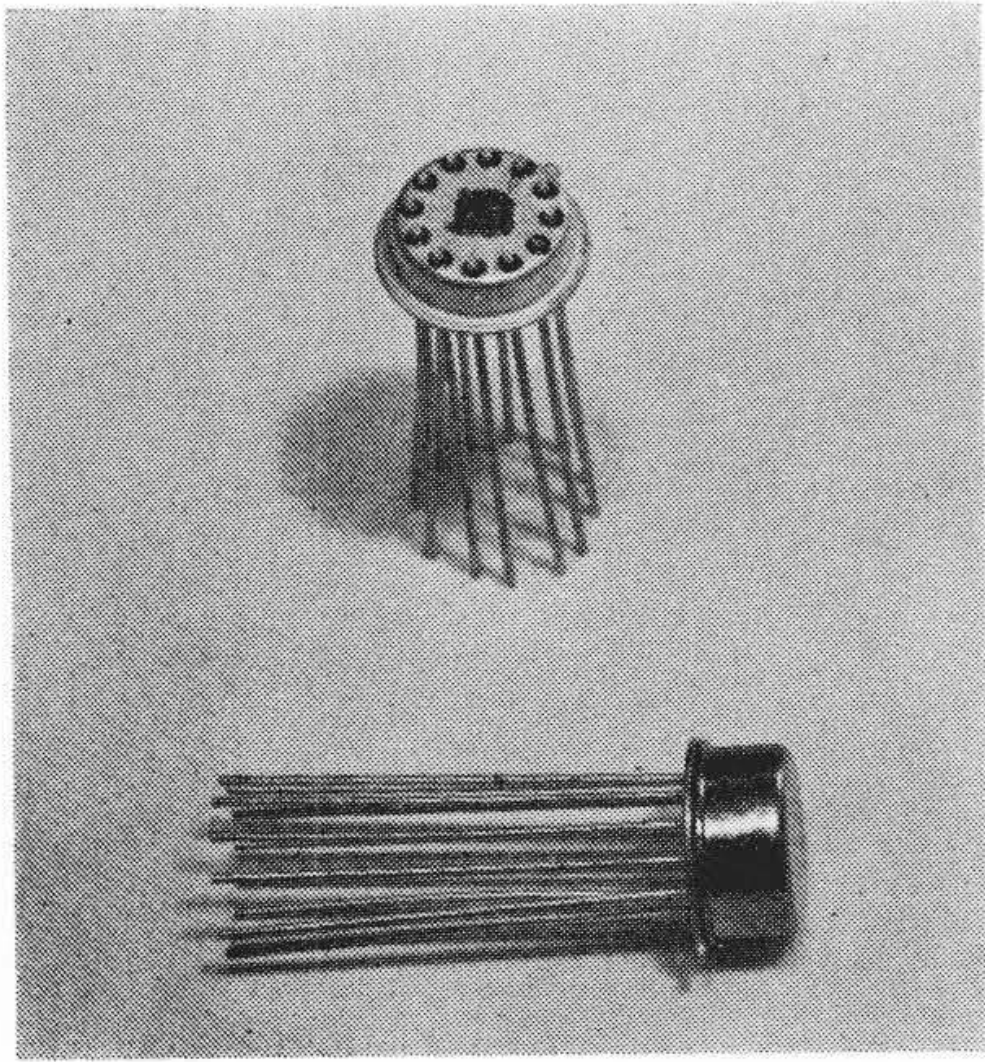


図5 試作 IC の外観写真

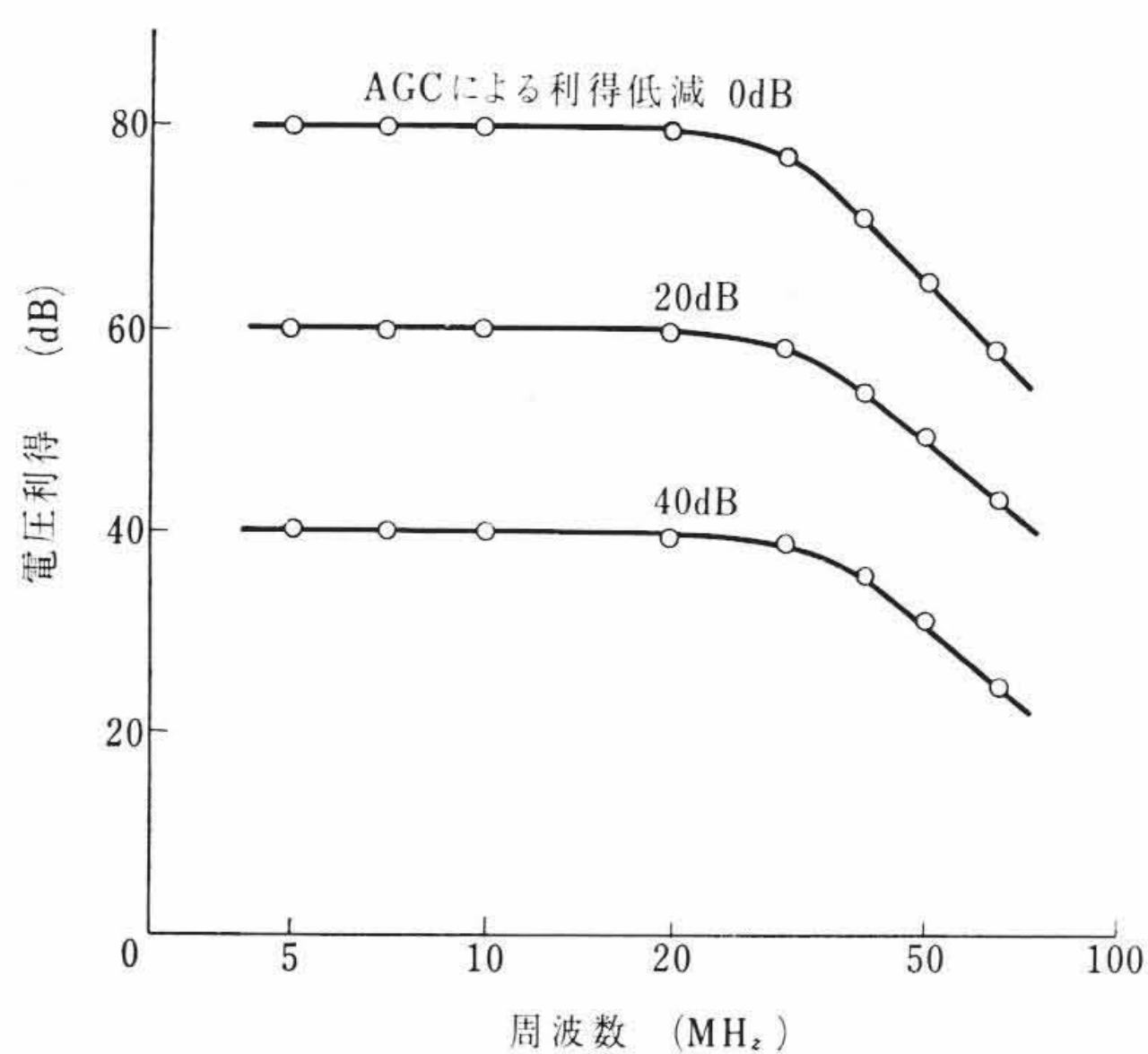


図6 試作 IC の利得対周波数特性

dB の利得を期待できる。したがってこの IC は 25 MHz 帯のみならず 57 MHz 帯の VIFA にも適用しうる可能性をもっている。

この IC をカラーテレビ受信機(映像中間周波数 25 MHz)の VIFA 部に実装し諸特性の測定を行なった。図7は実装試験に用いた VIFA の写真である。図8は実装状態における周波数帯域特性の測定結果を示したものである。実装状態において VIFA および映像検波器総合の微分利得を測定した結果、VIFA 入力端における映像キャリア電圧 300 mV rms 以下、映像検波出力 2~3Vp-p なる条件において、2 dB 以下であった。また放送を受信したところ、真空管式に比べ遜色のない画像が得られた。

6. 結 言

カラーテレビ受信機映像中間周波増幅器用半導体集積回路の最適回路方式について考察を行ない、カスコード形増幅回路を基本とした多段直結形広帯域増幅回路を、1 個の IC で所要性能が得られるよ

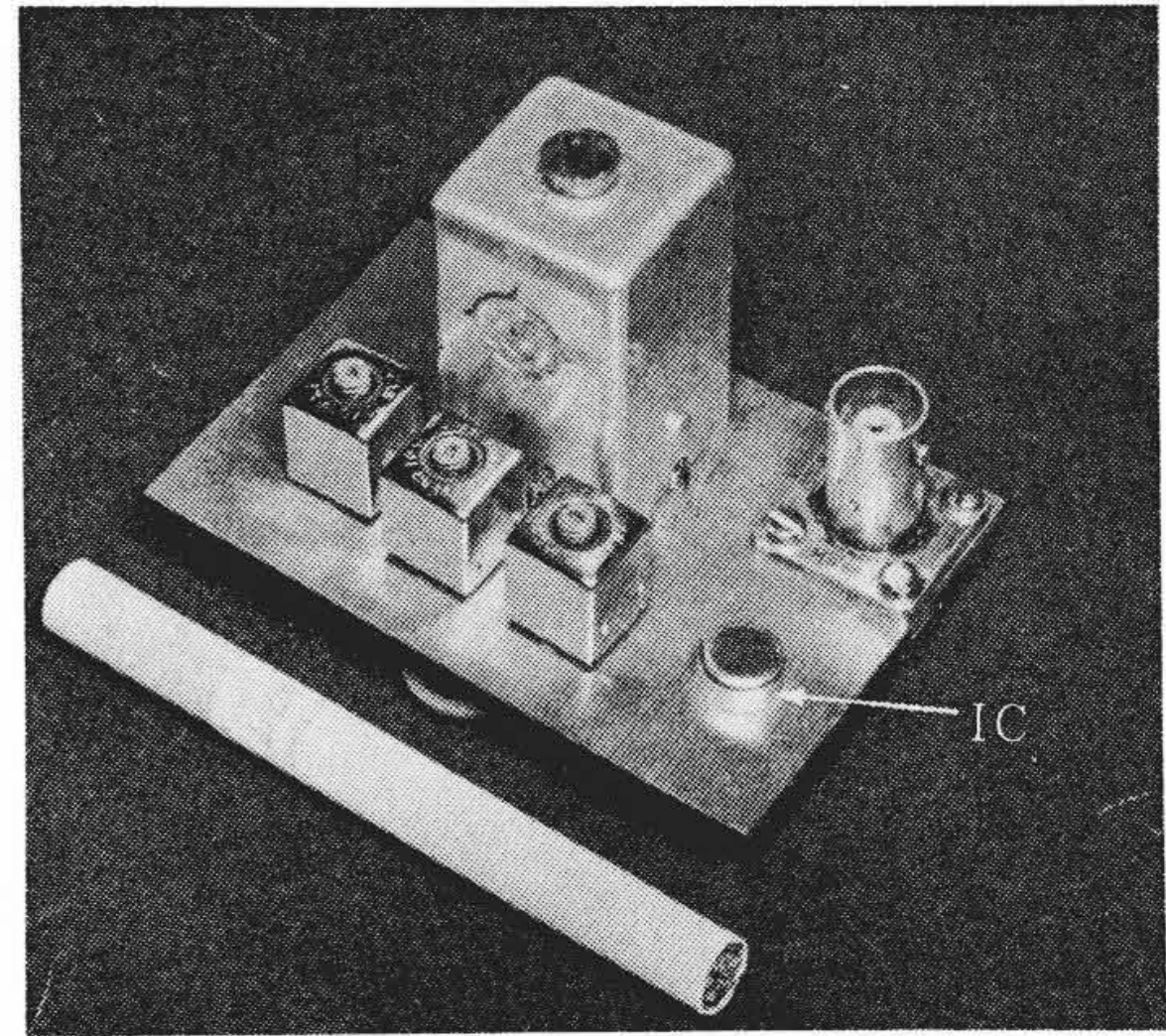


図7 試作 IC を用いた映像中間周波増幅器

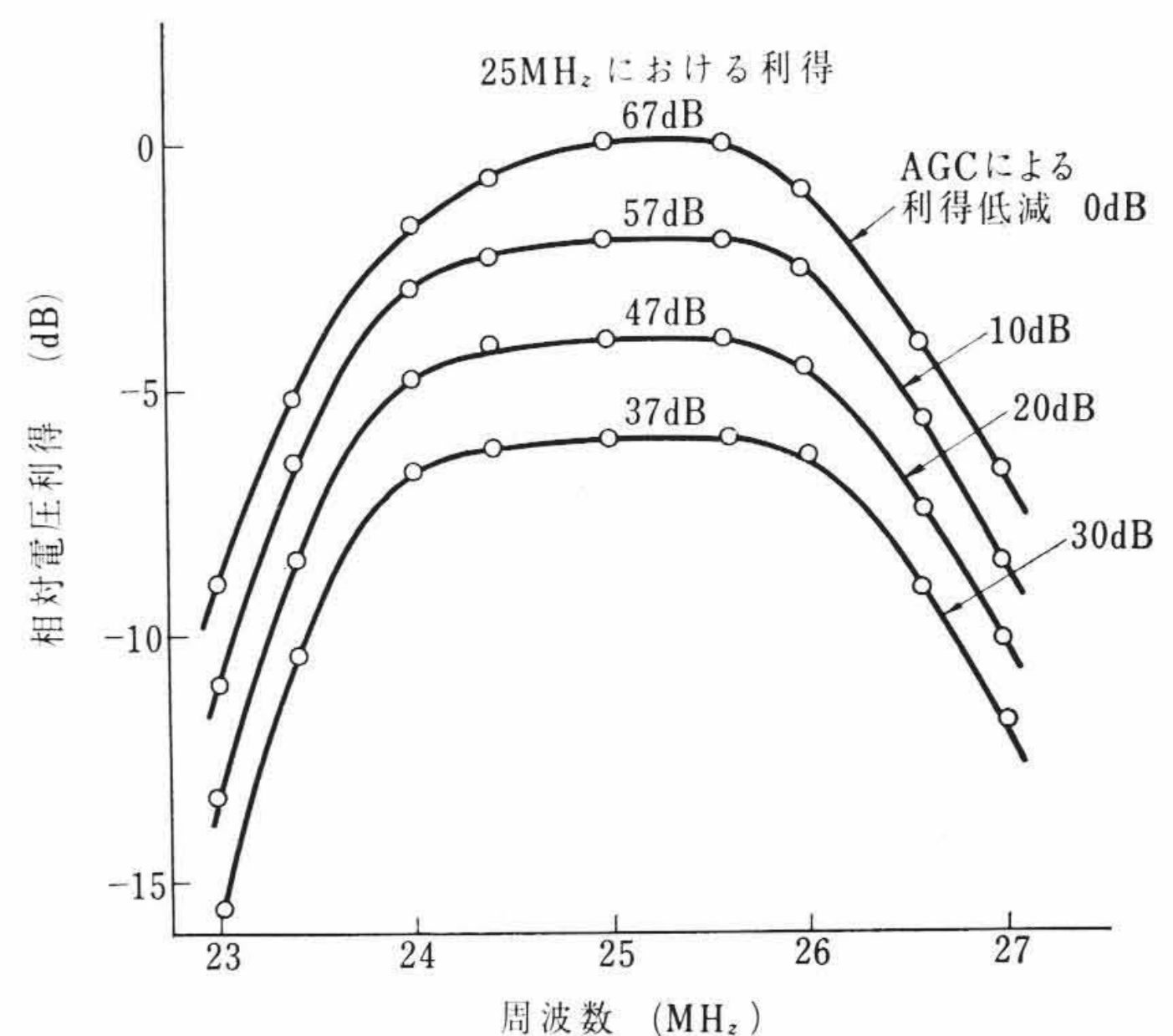


図8 試作 IC を用いた映像中間周波増幅器の周波数帯域特性

うに、構成する方式が最適であることを示し、この方式により試作した IC の特性を記した。またこの IC を受信機に実装し、真空管式に匹敵する画像を得た。これらの点より半導体 IC 1 チップを用いて映像中間周波増幅器を構成することの可能性を確認することができた。

今後本回路の周辺回路である AGC 増幅回路に対する考慮、実装法などの問題点を解決する必要がある。

終わりにのぞみ本研究にあたりご指導、ご助力をいただいた日立製作所中央研究所宇佐美横浜分室長、成田主任研究員、上妻武蔵分室長および実験に協力していただいた中央研究所亀島、岡田の両氏に深謝する。

参 考 文 献

- (1) 越智, 大村, 小沢: 昭42電連大 No. 1912 (昭42-4)
- (2) J. C. Barrett & B. L. Frescura: ISSCC, pp. 94~95 (1965)
- (3) J. Avins: Electronics, p. 137, March 21 (1966)