集積回路の送像・送信装置への応用

NHK 技術本部 中 村 有 光

1. ま え が き

IC 技術の急速な発展は、テレビ送像・送信装置に対しても改革をもたらしつつあるが、IC の応用に当っては、長期的な展望に立って広くとらえねばならないことが多く、ここではまず集積化システムとしての検討を述べ、次にまだ開発段階にあるものが多いが、映像・音声回路、同期回路、高周波回路、制御回路への代表的な応用例を示した。

2. 集積化システム

2.1 システムの有効性

IC の送像・送信装置への導入は、一般の通信機器の場合と同様に、信頼性と経済性の改善が主目的となり、高度の機動性を要求される取材用機器のような場合には、さらに小形軽量化と消費電力の低減化が取り上げられる。この場合、個々の装置ばかりでなく、これらの集合としてシステムの有効性——(信頼性)×(機能)/(コスト)——に着目する必要がある¹⁾。

“機能とコスト”の面からは、既製の量産品種の応用を含めて回路ブロックの種類を少なくし、汎用性を重点とする方法がある。装置の製造コストも保守コストも低下できるが、集積化の度合いが高くなりにくい。一方、民生用機器のように、個々の機種に適した回路ブロックの構造や特性を採用すると、集積化の規模は増大するが専用品種も多くなり、コスト高になる。個々の装置の最適化とシステムとしての最適化とが相反するわけで、回路ブロックの集積密度を高めていくほどの傾向が著しくなる。

回路ブロックは、製造上からも運用上からも最小交換単位となり、信号レベル、入出力インピーダンス、電源電圧など定格の設定が重要である。ディジタル IC の場合には回路形式が淘汰され、製造技術が集約され、国際間競争における互換性の有利さから、自然な形で標準化が進行しているが、アナログ IC の場合には回路形式が

図1 アナログ IC の電源電圧定格の分布
(米国47社、168品種について、1968)

多様で、一部にモデル的な回路が現われているが、製造手法も半導体、薄膜、厚膜など多く、個々の“装置のレベル”でも汎用的な“素子のレベル”でも、固定化されるに至っていない。例として図1にアナログ IC の電源電圧定格の分布を示した。

ディジタル IC では、大部分が $5\text{V} \pm 10\%$ であるのに比して種別が広がっているが、 6V 、 12V 、 15V 、の正負の組合せが多数を占めるようになってきている。入出力インピーダンスは、ケーブル、フィルターなど受動回路の制約が強いが、信号レベルは SN 比やひずみと消費電力との相反性を考慮して、古い基準を再検討する余地がある。回路形式や構成素子の材料から離れて、多端子の機能ブロックとして規定していくことが必要であろう。

“信頼性とコスト”の面からみると、因子は主として接続点処理と熱放散処理になる。IC 自体は回路形式にもよるが、集積密度を高めても内部の接続点に影響されないが、プリント配線基板への実装が問題となる。表1に従来の個別部品によってユニット化した場合と、IC を採用してユニット化した場合とを対比して示してあるが、全接続点数と全構成部品数の比は、前者が約2倍であるのに比して後者では3～8倍となっている。集積化すると、構成部品数も接続点数もともに減少するが、

¹⁾“Application of IC's for Television Facilities” by Yuko Nakamura (NHK, Tokyo)

表 1 部品数と接続点数の関係

装 置	従来の個別部品形式		I C 化 形 式	
	部品数と接続点数	比 率	部品数と接続点数	比 率
同 期 信 号 器	TR 163 (489)	(3023) 1425	IC 84 (1176)	(1334) 163
	D 71 (142)		D 3 (6)	
	R 789 (1578)		R 36 (72)	
	C 397 (794)		C 40 (80)	
	他 5 (20)		他 2 (16)	
同 期 分 配 器	TR 21 (63)	(229) 98	IC 10 (42)	(60) 13
	R 51 (102)		D 1 (2)	
	C 24 (48)		他 2 (16)	
	他 2 (16)		他 2 (16)	
番 伝 装 置 (送)	TR 139 (417)	(1999) 939	IC 67 (422)	(729) 220
	D 133 (266)		TR 1 (3)	
	R 479 (958)		D 5 (10)	
	C 170 (340)		R 90 (180)	
	他 (18)		C 49 (98)	
	他 (18)		他 8 (16)	
番 伝 装 置 (受)	TR 80 (240)	(1280) 583	IC 38 (254)	(529) 164
	D 58 (116)		TR 1 (3)	
	R 289 (578)		D 18 (36)	
	C 133 (266)		R 53 (106)	
	他 23 (80)		C 35 (70)	
	他 23 (80)	2.20	他 19 (56)	3.20

図 2 アナログ IC のパッケージ形状の分布
(米国 232 品種について、1968)

ユニットとしての信頼性配分からは、接続点処理の信頼性維持が重要で、少なくとも故障率 $10^{-9}/h$ 以下 (1 接続点当り) が必要である。

図 2 にアナログ IC のパッケージ形状の分布を示した。デジタル IC では、計算機用として動作温度範囲が比較的狭く ($0\sim 75^{\circ}\text{C}$)、低コストとなるデュアルインライン形が大部分を占めるのに反して、アナログ IC では、広い温度範囲 ($-55\sim 125^{\circ}\text{C}$) で使用でき、他の個別部品と混用実装しやすい、8～14本のリードをもつ円筒形 (TO-5 形など) が多い。この場合、外形寸法単位 (mm か in か) に起因する接続処理の問題が軽減される。

一方、集積密度を高めると、熱損失の増加が信頼性の低下の原因になる。円筒形では対流による冷却が、フラットパック形では伝導による冷却が主体となるが、いずれも小形化のための高密度実装には熱放散処理が重要で、構造設計に大きな注意を払う必要がある。

システムの有効性を確保して送像・送信装置を集積化する設計手法は、大別すると次のように 2 つに分類される。

(1) すでに開発され、量産されている品種を複合部品として組合せできる部分に使用したり、あるいは利用しやすいように装置の回路系統を機能的に再編成して採用する。これはデジタル IC や汎用のアナログ IC を応用するとき適用される。

(2) 従来の回路を整理して製造規模に見合う方式の専用回路を開発したり、さらに積極的に他の装置にも利用できる多目的回路として設計し使用する。これは高周波機器や小形化機器への応用の際に多くなる。

実際にはこれらの手法が混用されるが、現在実現されているトランジスタ回路をベースとして単純に集積化をはかることは、注意しなければならない。

2.2 汎用 IC の利用

計算機用として半導体集積化されているデジタル IC は、中速度の DTL と高速度の TTL が主力であり、多くのファミリー回路が開発されているが、これらを巧みに利用する方法がある。同期パルスに関するゲート回路、フリップフロップ回路、カウンタ回路やパルス制御としたサーボ増幅回路などへの応用から、わずかな ON-OFF 転換領域での発振成長を利用するシュミット回路や、水晶発振回路も考案されている²⁾。さらに高速素子によって、デジタル遅延や時分割混合などをおり込んだ系統構成もある。これらの応用に当っては、特に従来の回路よりノイズによる誤動作防止に留意する必要がある。

次に、汎用化された集積密度の高い演算増幅回路や広帯域増幅回路の応用がある。これは高利得の $\mu\text{A} 702$ 、高出力の $\mu\text{A} 709$ (Fairchild) や広帯域の SN 7510 (Texas I.) で代表されるが、同形あるいは類似のものが各社から出されており、いずれも周波数帯域の汎用性とドリフトの安定性から、直結平衡増幅形式をとっている。映像信号の各種プロセスに利用できるが、帰還回路の施し方が重要である。

さらに、民生機器用として開発された多機能の専用回路の全部あるいは一部を流用する方法がある。CA 3014 や CA 3043 (RCA) で代表される FM 復調回路は、通信用受信回路にも使用できる。一方、集積密度が低く複合部品的な多目的のアレイ——CA 3026 (RCA) など——は、同一拡散工程による特性の均一性を特色として、広く利用できる。

2.3 カスタム IC の開発

特注回路としてはアナログ IC に限定されるが、集積化に当たっての基本的な線形回路は図 3 に示すとおりであ

図3 基本的な線形回路

表2 ICの性能の現状と将来見込み

性 能		高密度組立方式	混成 IC	半導体 IC
信 頼 度 (MTBF) (h)	現状 将来	10 ⁶ 10 ⁷	10 ⁶ 10 ⁷	10 ⁷ 10 ⁸
コ ス ト (円/個)	現状 将来	500~8000 300~5000	700~3000 250~2000	500~5000 150~3000
抵 抗 範 囲 (Ω)	現状 将来	1~1 M 1~1 M	10~10M 10~50M	50~50 k 10~100 k
偏 差 (%)		±10以下	±0.01~20	±5~20
温 度 係 数 (ppm/°C)		±数百	±300	±50~5000
コンデンサ範囲 (μF/cm ²)	現状 将来	10 100	0.01~5.0 0.01~10	0.025 0.05
偏 差 (%)		±5以下	±2~10	±10~30
温 度 係 数 (ppm/°C)		±数百	100~800	200
最大インダクタンス (H)	現状 将来	10m 10m	10μ 100μ	極 小 極 小
繰返しパルス速度 (MHz)	現状 将来	10~20 150	20 200	10~50 250
利 得 帯 域 幅 (MHz)	現状 将来	10~100 1000	100~400 2000	100~400 3000
最大電力許容量 (W)	現状 将来	0.1~1 10	0.05~2 10	0.05~3 20
実 装 密 度 (cm ²)	現状 将来	2~20 5~20	10~10 ³ 10 ² ~10 ⁴	10~10 ⁴ 10~5×10 ⁴

る。差動増幅回路は相対する素子を、電気的には同一特性に、熱的には密結合にすることで、差動出力の温度ドリフトを防ぎ、エミッタ抵抗をトランジスタに置換して定電流源とすることで電源変動を押えている。この回路は半導体 IC に最も適した回路である。一方、直列帰還増幅回路は2段目のトランジスタのエミッタ抵抗 R_E による直列帰還と、 R_F による並列帰還とによって利得は

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{R_2(R_E + R_F)}{R_0 R_E}$$

となり、電源変動の影響は受けるが、トランジスタの増幅率に依存しなくなり、入力インピーダンスを低くでき

る。同調回路を間にはさむ高周波増幅回路として薄膜 IC に適した回路である。

少量生産の特注回路の開発に当っては、集積化方式が最も問題となる。表2に厚膜を基礎とする高密度組立回路、薄膜を主体とする混成 IC、および半導体 IC の性能の特色を示したが⁽³⁾、比較的能動素子の占める割合が多く、集積密度を下げた汎用化につながる場合には半導体集積化が、受動素子の比重が高く高精度を要求するときは薄膜集積化が有利となる。

図4に *n*pn 形と *p*np 形を組合せたブリッジ形エミッタフォロウ回路（ダイヤモンド回路）を示したが、これは映像帯域で使用できるアナログスイッチであるとともに、常時 ON 状態として、高入力・低出力インピーダンスのバッファ増幅回路としても使用でき、さらに、3.58 MHz の平衡変調回路をも構成できるものである⁽⁴⁾⁽⁵⁾。また、Westinghouse 社が NASA 用に開発した CLEM ブロックは、4種10個のトランジスタ、6対のダイオード、18個の拡散抵抗を半導体集積化し、選択配線することで、衛星搭載トランシーバ用の数種の回路を実現している⁽⁶⁾。

一方、タンタル系薄膜 IC では、導電部分、抵抗、コンデンサを同一材料で構成でき、無機物の絶縁基板によって高周波帯での high *Q* を確保できるので、ビームリード形の半導体 IC を能動素子として採用すれば、より広い範囲の集積化が可能になる余地がある。

3. 映像・音声回路への応用

映像・音声機器への導入は、始められたばかりであるが、図3(a)に示した基本形に近い回路(RCA-CA3001 など)から、映像帯域に利用できる多種類の回路が開発されてきたので、急速に進展する傾向にある。

図5は、小形カラーカメラのイメージオルシコン用前置増幅器の IC 化の例である。 μ A 702 A による初段では、出力から入力への並列帰還によって、特性補償と入力インピーダンスの低下を行なっている。この帰還特性は、次段入力インピーダンスによって変化し、発振を生じやすいので、2段目にバッファとして厚膜によるカスタム IC を挿入し、ストリーキング補正も行なっている。3段目の CA-3001 で増幅後、4段目の図4に示したダイヤモンド回路で 51Ω の同軸ケーブルに出力を供

図4 ブリッジ形エミッタフォロ回路 (ダイヤモンド回路)

図5 イメージオルシコン用前置増幅器の例

図6 映像分配増幅回路の例

給しているが、総合して入力電流 $3\mu\text{A}$ に対し出力 0.5V p-p の利得となり、SN 比 60 dB 以上が得られている。ここでは負電源のみを使用した、各電源インピーダンスには充分注意しなければならない。

映像信号のプロセス増幅器として、ケーブル補償、シ

ェーディング補正、ブランキング混合、クランプ、クリップの各回路が部分的に広帯域増幅回路や演算増幅回路を利用して試作されているが、CA-3035(RCA)やSI-1006(芝電気)のような複合増幅回路の活用と系統構成の再検討が必要とされる。

図 7 音声出力増幅回路の例

映像分配器は、75Ω 負荷 3 出力に VS 1.0Vp-p のレベルで伝送特性の良好な信号を供給することにむずかしさがある。1 出力 1 回路として構成する方法もあるが、図 6 に示すように SI-1004, SI-1007 (芝電気) ではチップの面積を広くし、大形のパッケージに収容して 3 出力 1 回路の半導体集積化を行なっている。+20V あるいは±10V の電源で、-10~+50°C の範囲にわたり DG 0.2%, DP 0.2° のカラー特性が得られている。

映像切替器には、さきのダイヤモンド回路やダイオードブリッジ回路——μPC 91 (NEC), CA 3019 (RCA) など——の応用が試みられているが、この部分は最も汎用性のある回路である。

音声増幅器用としては、民生用のテープレコーダー、FM 受信機などに使用される半導体 IC を流用できる。M 5101 P (三菱) は、前置増幅、駆動増幅、電力増幅の 3 回路が独立している多機能回路で、全体として最大電圧利得 120 dB、最大出力 1 W が得られる。図 7 に示したのは低インピーダンス用の音声出力回路の例である。M 5106 P (三菱) も同様な回路であるが、MC 1554 (Motorola) では、最大出力 1 W でひずみ 0.75% 以下、温度特性がすぐれている。しかし、実装に当ってはトランジスタの f_T が高く、高域での寄生振動を起こして波形の不安定を生ずることがあるので、音声回路であっても、R-C フィルターのリード線を短く処理することが必要である。

4. 同期回路への応用

同期回路への応用としては、DTL-IC による同期信号発生器や、変形 TTL-IC による同期分配器などの試作例があり⁷⁾⁸⁾、最近では高密度集積された TTL を充分に活

用したカラーバー発生器や、カラー同期信号発生器が開発されており⁹⁾¹⁰⁾、集積化によって最も効果のあがる機種である。

回路系統を極力デジタル化して調整部分を省略し、回路の複雑さを高機能の論理用 IC の採用で、信頼性も経済性も向上させるようにはかった代表例として、図 8 に系統を示したカラー同期信号発生器について述べる。

(1) 基準発振周波数を 14.3 MHz (正確には 14.31818 MHz) にとり、これを基本クロックとして各信号および相互間の時間的精度を安定化している点が特色となっている。14.3 MHz の水晶発振回路は、図 9 に示すように DTL-IC を変形応用して無調整化し、小形の恒温槽に収容している。この出力を J-K FF 2 段の TTL-IC——M 5373 (三菱)——1 個で 1/4 通降し、3.58 MHz の副搬送波を作っている。カラー同期結合回路には、自局と他局の副搬送波の位相差をパルス幅変調形の位相比較回路で検出して発振器を制御している。これにより位相検出トランスが省略される。

(2) 31.47 kHz (正確には 31.468528 kHz) のパルスは 14.3 MHz から $1/5 \times 1/7 \times 1/13$ カウンターを通して作られる。また、水平のタイミングは IC 遅延回路によらず、98 ビットのシフトレジスタで構成したデジタル遅延回路を使用し、14.3 MHz の 1/2 の 7.2 MHz のパルスをクロックとする精度をもたせている。一方、垂直のタイミング——3 H-3 H, 9 H, 21 H など——は、従来と同様 1/525 カウンターから取り出される。この両タイミングパルスから、R-S FF により各出力信号波形がいっせいに作り出される。出力回路には図 10 に示す高ファンアウトの TTL-IC——M 5325 P (三菱)——ラインドライバを採用しているが、送端の整合をほぼとった

うえで、 75Ω 負荷に 1Vp-p の出力を送出している。

(3) 水平同期結合は、1/455 カウンターの入力クロックパルス (14.3 MHz) を抜いて水平位相をスリップさせる。垂直同期結合は 1/525 カウンターの入力クロックパルス (31.47 kHz) を 2 個ずつ抜くか、あるいは挿入す

図 8 カラー同期信号発生器の系統

図 9 DTL NAND ゲートによる同期発振回路

図 10 TTL ラインドライバによる同期出力回路

図 11 温度特性

るかの調相動作を行なう。

(4) 出力信号の温度特性を図 11 に示してあるが、パルス幅変動はなく、振幅変動もきわめて小さい。全消費電力 7 W で、従来の個別部品方式に比して構成部品数で約 1/9、接続点数で約 1/2 (表 1 参照)、容積で約 1/5 となり、1 桁以上の信頼度改善が期待できる。

同期信号発生器としては、従来の系統構成でも集積化できるが、以上の例は集積化手法のひとつの方向を示している。

5. 高周波回路への応用

高周波回路への応用は、ワイヤレスマイク、移動通信用の小形送受機の一部に止まっていたが、最近になって薄膜によるテレビ中継放送装置の試作が行なわれ、大規模な導入も計画されるようになってきた。ここでは広く二、三の例をあげる。

100MHz 以下の中間周波増幅器は差動増幅形の $\mu\text{A} 703 \text{ E}$ (Fairchild), CA 3005 (RCA) などを利用して集積化できるが、図 12 には、直並列の直結 2 段負帰還増幅回路による 70 MHz 中間周波増幅器を示した。同調回路の構成として広帯域増幅回路を多段接続し、所要の帯域特性を集中的にブロックフィルタで行なう方法と、各段ごとに同調回路を外付けして所要特性を得る方法とがあるが、これは前者に属する。帯域幅 10 MHz 電圧利得 72 dB が得られている。

100 MHz 以上の VHF 帯では、個別抵抗より特性のすぐれている薄膜抵抗——特に窒化タンタル系——を主体とする混成集積化となる。中継放送局用の受信増幅器、100 mW 級電力増幅器の試作例では、Ni-Cr 薄膜抵抗と SiO_2 薄膜コンデンサを使用しているが、後者の Q が低くなり

図 12 70 MHz 中間周波増幅回路例

図 13 マイクロ波用増幅回路例 (混成薄膜)

図 14 マイクロ波用増幅回路の特性

がちになるほか、シールと放熱の構造、コイルの実装方法などが問題となり、改良されている。エポキシモールドは特性劣化なく放熱が改善される。

マイクロ波回路に対しては、絶縁基板上の薄膜によるストリップライン、あるいは受動部品に能動素子を結合させる混成構造となる。図13はタンタル薄膜による抵抗、コンデンサに、プレーナ形 Ge トランジスタ 2 個を結合させた 3.5~4.5 GHz 帯の広帯域増幅器である。3 段カスケード接続時の特性を図 14 に示したが、3.7~4.2GHz で利得 12 dB, VSWR 1.25 以下、同調調整が不要であり、信頼性は MTBF 10^6 h といわれている¹¹⁾。

6. 制御回路への応用

通常の制御装置にはデジタル IC がそのまま使用でき、PWM 形のサーボ増幅器には高密度に半導体集積化された汎用センサ増幅回路が利用できる。ここでは、制御信号の発生回路と直流電源の安定化回路の例を示した。

図 15 多周波制御信号の発生方式

2 波以上の正弦波の組合せによる制御信号の発生には、図15(a)に示すアナログの回路構成のほか、(b)に示すデジタル的な回路構成がある。後者では、方形波発振出力をデジタルゲートした後に、高速の時分割パルスでサンプル混合し、最終段の BPF で高調波を除去して目的の制御信号を得ている。図 16 に示したデジタル IC による構成では、機能の拡張が容易で、出力振幅の安定性にもすぐれている。

直流電源の安定化回路には、図 17 に示すように、専用の素子が開発されている。LM 100 (NSC) は広い範囲

図 16 多周波制御信号のデジタル形発生回路

f_5 : 常時発生, $f_1 \sim f_4$: 2波選択, 間欠発生
 $f_1 \sim f_5 \doteq 10 \text{ kHz}$, $f_{MV} \doteq 800 \text{ kHz}$

に適用でき、入力電圧 8.5~40 V、出力電圧 2~30 V、出力電流 25 mA のもとで、0.1% の安定度が得られる。外部にパワートランジスタを接続して容量増加をはかることができ、図17では 28V、2 A となっている。また、電流制限回路を内蔵し、任意のセッティングが可能である。SI-2001 (芝電) は、この種の専用素子として開発されているが、SI-2000 では、大形のパッケージを使って 12V 1 A 程度になっている。一方、図 18 に示すように、簡易形として μ PC 51 (NEC) のような演算増幅回路を使用した例もある。

7. む す び

IC の本格的な導入が開始されている折から，集積化システムとしての意義を把握して，巧みな回路応用技術が開発されることを期待したい．この拙文が参考となれば筆者の幸である．

〔参考文献〕

- 1) 中村：超小形回路化設計の諸問題，NHK 技研月報，**9**, 11(1966)
- 2) 山根，遠藤，柳町：集積回路を用いた番組伝送制御装置の試作，テレビ誌，**22**, 1 (1968)

図 17 専用素子による電圧安定化回路例

図 18 演算増幅素子による圧電安定化回路例

- 3) IC-HB 委：集積回路ハンドブック
- 4) 中村，池田ほか：集積化ダイヤモンド回路とその応用，テレビ学会回路研資，65-3 (1966, 8)
- 5) 池田，坂田ほか：集積回路による平衡変調回路，第3回テレビ学会全予，7-4
- 6) G. Strull, et al: ISSCC Digest of Technical Papers, Feb. (1966)
- 7) 羽物，池田：IC 化同期信号発生装置，テレビ誌，**20**, 10 (1966)
- 8) 小林，中村：TV 同期信号発生器のモロクトロン化，テレビ誌，**20**, 9 (1966)
- 9) 山根，大関：IC 化カラーバーゼネレータ，NHK 技研月報，**11**, 5 (1968)
- 10) 山根，若林：カラー用 IC 化同期信号発生器，NHK 技研月報，**11**, 11 (1968)
- 11) T. E. Saunders, et al: An Integrated 4GHz Balance Transistor Amplifier, J. IEEE, **SC-2**, 1, Mar. (1967)