(第 3 回)

IC 応 用 回 路 (I)

東京芝浦電気株式会社 総合研究所 山 田 尚 志

佐々木 実

宮 代 文 夫

1. ま え が き

本講座もいよいよ、本題の IC 応用回路にはいつてきた。実際の IC 応用回路は、現在きわめて多岐にわたっているが、基本的ブロックの組合せであり、基本的ブロックを完全に理解し、それらを組合せてシステムを構成する方法が今後のシステム設計の基本となると思われる。

ここでは、現在使用可能な IC と応用分野について述べ、あわせて、設計上注意すべき点について考えることとする。

2. 汎用 IC, 専用 IC の現状

IC がどのような分野に应用されているかを、図 1 に示す。ここ 10 年間で、計算機、通信用の用途の相対的比重が減り、全体に多様化していることがわかる。

ただし、計算機、通信用は、絶対量としては増加を続

けており、割合が減っているだけである。電卓はディジタル IC、テレビはリニア IC の立上りに大きく貢献したことがよく示されている。このへんは軍用、宇宙用等から出発した米国と若干様相を異にしている。以下、簡単に実際の IC について述べる。

2.1 汎用リニア IC の例

(1) OP アンプ	(4) 電源
(2) コンパレータ	(5) アナログスイッチ
(3) PLL	(6) A/D, D/A

があげられる。電源は、第 8 回に電源回路が予定されており、これに譲って、他のものについて述べる。

(1) OP アンプ

OP アンプは、現在の IC 化時代の幕明けとなり、多くの回路技術的進歩をもたらしたものであるが、現在は位相補償型の $\mu A 741$ タイプが、標準として用いられるようになり、これに対して、高入力インピーダンスとか、種々の特徴を持ったものが市場に出まわっている。これらを表にしたものを表 1 に示す。

入力電流では 10 pA 、スルーレートで $350 \text{ V}/\mu\text{s}$ 、電力では $\sim 1 \text{ mW}$ といったものが現在モノリシック IC で最高の性能のものであり、これらの中から目的に応じて適当に選択することによって、ほぼ、どのような用途にも応用できる。さらに高い性能を要求する場合、ハイブリッド IC のブロックとか、チョッパータップなどがある。

いずれにしても、コスト的には、汎用のものに対し、数倍～数十倍となり、だいたいの目安として、1桁いづれかの項目で性能の良いものは、標準品に比しコストが倍になると考えてまず間違いない。コストは、ほぼ飽和しており、将来とも下ることは考えられない。表 1 にはないが、酸化物分離のプロセスで、 $\pm 35 \text{ V}$ の電源電圧まで加えることのできるものもある (HA 2640, HARRIS)。

図 1 用途別 IC 需要 (通産省統計)

"Applied Solid State and Integrated Circuits; 3. Integrated Circuits Application" by Hisashi Yamada, Minoru Sasaki and Fumio Miyashiro (Research and Development Center, Toshiba Corp. Kawasaki)

表 1 OP アンプ性能例

	一般用 (位相補償内蔵)	高入力インピーダンス	高速オペアンプ	低消費電力 オペアンプ	ローノイズ	ロードリフト
入力オフセット電圧	~10 mV	—	—	—	—	~0.025 mV
“ 電流	~1 μ A	—	—	—	—	~0
バイアス電流	~1 μ A	10 nA~0.01 pA	—	—	—	—
オフセット電圧ドリフト	~5 μ V/°C	—	—	—	—	—
“ 電流 “	~1 nA/°C	—	—	—	—	~1 pA/°C
電圧利得	~100 dB	—	—	—	—	—
CMRR	~90 dB	—	—	—	—	—
SMRR	~100 dB	—	—	—	—	—
スルーレート	0.6 V/ μ s	0.3 V/ μ s	5 V~320 V/ μ s	—	—	—
消費電流	~3 mA	~1 mA	~1 mA	~40 μ A	—	—
入力電圧雑音	~50 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	—	—	—	~10 nV	—
入力電流雑音	~1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$	—	—	—	—	—
ユニティゲインバンド	~1 MHz	~1 MHz	~10 MHz	—	—	—
電源電圧	$\pm 5 \sim \pm 20$	—	—	$\pm 1 \sim \pm 18$ V	—	—
実 例	8008 C μ A 741	8007 AM LF 155 A LF 355 310 J (ハイブリッド) CA 3160 CA 3130	8017 AM μ A 715 LF 357 LF 157 50 J (ハイブリッド) HA 2530 (HARRIS)	8021 M	741 LN LF 156	AD 517 L HA 2900 (HARRIS) (チョッパタイプ)
	—	—	—	—	—	—

表 2 コンパレータ

	Am 685	LM 111	8001 M	LM 160	LM 139
電源電圧 (V)	± 7	± 15	± 18	± 8	2~36
入力電圧 (V)	± 4	± 30	± 18	± 8	0.3~36
差動入力 (V)	± 6	± 30	± 12	± 5	± 30
出力電流 (mA)	30	~50	15	20	50
消費電力 (mW)	500	500	500	200	2/comparator
入力オフセット電圧 (mV)	2	0.7	0.5	2	± 3
入力オフセット電流 (A)	1 μ	4 n	2 n	5 μ	± 5 n
入力バイアス電流 (A)	10 μ	60 n	40 n	5 μ	25 n
入力抵抗 (Ω)	6 k	—	10 M	17 k	—
CMRR (dB)	80	—	—	—	—
SMRR (dB)	70	—	—	—	—
t_{pd+} (ns)	6.5	200	250	13	300
t_{pd-} (ns)	5.5	200	250	13	—
	出力 ECL コンパチブル AMD	NS	Intersil	NS	ローパワー (4 個入) NS

(2) コンパレータ

コンパレータは、OP アンプより 2~3 年遅れて登場したが、その後、積分型 A/D 等で多量に用いられるようになり、次第に用途を拡げている。コンパレータの場合、性能指数として最も大切なのは、スピードであり、入力のオフセット、オフセットの温度ドリフト等が用途によっては、より重要となる。表 2 に、実際のコン

パレータの例をあげた。コンパレータとして、現在最高速のものは、5~6 ns の AMD 社の Am 685 であるが、消費電力も 500 mW と、かなり大きい。

コンパレータは、入力があるレベルを越えると出力が反転する型であり、入力の微小変化で出力が反転するためには、利得を大きくする必要がある。通常トランジスタ回路 1 段当りの利得は 50 dB 程度であるので、最低

表 3 PLL-IC

	NE 560	NE 565	CD-4046 B	MC 1648	MC 4344
電源電圧 (V)	26	26	5~10	±5	5
消費電力 (mW)	300	200	100 μ W ⁽¹⁾	200	85
周波数 min(Hz)	0.1			—	—
max(Hz)	30M	500 k	2.4M	225M	9 ns ⁽²⁾
入力電圧範囲 (dB)	60			—	—
VCO 安定度	±0.06%/°C	300 PPM/°C	0.06 %/°C	—	—
電源電圧安定度	±0.3%/V	1 %/V		—	—
FM 検波出力	4 Vp-p max	2 Vp-p		—	—
" S/N	≈35 dB ⁽¹⁾			—	—
" ひずみ (%)	0.3	0.4	~1	—	—
	シグネティックス	シグネティックス	RCA	VCO のみ (LC) モトローラ	PC のみ モトローラ

(1) $f_c=10.7$ MHz, $4f=75$ kHz(2) $V_{DD}=5$ V, $f_c=10$ kHz

(3) propagation delay

2段の利得段をシリーズに接続する形となるから、遅延時間は、 $1/f_T$ の1桁程度下となる。今後、高速のディジタル伝送の発達により、さらに性能向上の期待される分野である。

(3) PLL-IC

PLL-IC は、IC 応用回路の隘路となっていた外付けの L を省略したことで大きな貢献し、単体の IC だけでなく、多くのカスタム IC、例えば、テレビの同期回路、選局、CB トランシーバーの IC 等に広く用いられており、その用途は広がる一方である。

PLL-IC が、1969 年にモノリシックでシグネティックス社から発表されて以来、IC の欠点を補い、また IC 化することによる性能向上の両方を実現するものとして、数々の発表がなされている。

PLL-IC には、位相比較器を必要とするが、これについても、二重平衡型差動回路が、個別部品での構成の性能を上まわり、きわめて理想的動作を実現している。一例を表 3 に示す。なお、後述するディジタル PLL によるシンセサイザーの用途が今後急激に増加すると考えられる。

(4) 電源（電源については別項で詳述されるので省略する）

(5) アナログスイッチ

アナログスイッチについては、各社ほぼ同様の規格で、CMOS 技術を用いたものが多く、分類としては、ディジタル回路となっていることが多い。用途としては、アナログ回路にも多く使われている。

CMOS 技術を用いた両方向スイッチは、on 時の抵抗数百 Ω 、入出力のセパレーションが周波数に比例して悪化する。フィードスルーの容量が数 pF 程度、電流スイ

ングで mA 程度のものが標準的である。電流スイングをとらなければ、非線形性は少なくなるので、種々の要求をにらみ合せて、適当なものを選定すれば良い。

電流が大きくとれるものは、フィードスルーの容量も大きくなり、その比はほぼ一定となるから、設計は、入出力インピーダンスによって適当なマッチングをとらねばならない。

(6) A/D, D/A 変換器

A/D, D/A 変換方式については、ディジタルとするか、アナログ IC とするか意見の分かれるところであるが、IC の設計、使用上の注意としては、アナログ IC として考え取扱うことが妥当と思われる。

D/A 変換回路は、通常 A/D より簡単であり、価格も同じ精度なら A/D の約 5 分の 1 程度で問題は少ない。

A/D は大別して電圧を時間軸に変換する積分型と、電圧をそのまま内部の基準電圧と精密に比較してディジタル化するタイプ（逐次比較型等）に分けられる。積分型は、高精度、安定、安価、簡便等の特徴で、主としてディジタルボルトメーター等に用いられており、変換時間は、0.1 sec 程度である。一方、逐次比較型や、並列型等の場合はきわめて動作速度は速い。精度も最近では、16 bit まで向上している。表 4 にそれぞれの方式の特徴、表 5 に実例を示す。

A/D 変換器として最高速のものは並列型のもので、ビデオ信号コンバージョン用と称して、すでに発売されており、サンプルレート 10⁷ 回/sec を実現している。ビデオ用は、白黒の階調の完全な再現がほぼ、64 step の量子化で可能であることがすでに知られており、8 bit のもので充分である。VTR に PCM で、ハイファイ音楽の録音を行う場合 14 bit がすでに規格として決まってい

表 4 A/D, D/A 方式比較

D/A	積分型 (PWM 等) ラダー	安価, (TV チャンネル用等), 低速 一般的, 高速, 高精度抵抗必要
A/D	積分型 高精度, 低速, 外乱に強い, 低コスト ($\sim$ ms) 高精度素子不要 電圧一周波数変換型 低精度, 低速, 低コスト ($\sim$ ms) 最も回路が簡単 逐次比較型 } 比較的高精度, 高速, 高精度素子必要, 回路の複雑さ中程度 追従比較型 } ($\sim$ μ s) 並列比較型 } 超高速, 高精度素子必要, 回路は比較的複雑 継続比較型 } (特に並列型は, 量子化ステップ数に比例) ($\sim$ 30 ns)	

表 5 A/D, D/A コンバーター

	型 名	方 式	bit 数	コンバージョンタイム	デ バ イ ス
D/A	HI-562	ラダー	12	200 ns	バイポーラー HARRIS
	Am DAC-8	ラダー	8	85 ns	バイポーラー モトローラ
	NE 5009	ラダー	8	60 ns	バイポーラー シグネティックス
	AD 7541	ラダー	12	1 μ s	CMOS AD 社
	AD 7580 I	ラダー	12	2 μ s	CMOS ベックマン
A/D	TDC 1007 J	並列型	8	30 ns	モノリシック TRW(ビデオ用)
	AD 572	逐次比較型	12	25 μ s	バイポーラー AD 社
	ADC 1102	"	12	8 μ s	モジュール AD 社
	ADC 1131	"	14	12 μ s	モジュール AD 社
	8052A/8053A	二重積分型	4 $\frac{1}{2}$ digit	—	モノリシック Intersil
	AD 2020	"	3 digit	0.3 s	I ² L AD 社
	AD 7550	"	13	40 ms	CMOS AD 社

る。マイコンの普及に伴って、年々コストは 30% 程度低下している。現在のコストを図 2 に示す。

1 ビット増すと単価が約 2 倍となることは、歩留りだけでなく、ステップサイズその他がからんでいる。今後ともこの傾向は当分続くであろう。

プロセスとしては、モノリシック IC 上に薄膜抵抗を形成したものが、高精度用に用いられている。この分野

では、ハイブリッド IC によるモジュールも、非常に高精度で、かつ高価なものに適用されている。この場合、抵抗は薄膜抵抗で、レーザートリミングをするものが多い。

2.2 汎用ロジック (SSI/MSI)

汎用デジタル IC は、DTL に始まり、RTL, TTL と進み、さらに CMOS が加わり、数年前よりメモリー等で、PMOS, NMOS も加わって、最もプロセスの進歩の激しい分野である。今後、開発競争は続行すると思われるが、SSI, MSI 分野では、TTL から LSTTL の方が多くなりつつある。図 3 にデジタル IC のパワーと遅延時間を示す。

システム技術的立場から見れば、同じ機能を実現するのに、ECL, TTL, NMOS, CMOS の消費電力は、順番に約 10 分の 1 になっていくと考えてよい。ただし CMOS は、スタンバイの時の電力は、ほぼ零で、周波数に比例して増加するから低周波領域では消費電力はきわめて小さくなる。III については、現在のところ汎用といえるものは出ていない。汎用のものは、少なくとも (ECL を除いて) 入・出力が、TTL または CMOS と

図 2 D/A, A/D 変換器 (逐次比較型) コスト

表 6 デジタル IC の分野と動作周波数

バイポーラ	TTL	74 シリーズ 汎用ロジック (SSI, MSI)	~30 MHz
	STTL	74S シリーズ 汎用ロジック 高速	~100 MHz
	LSTTL	74LS シリーズ 汎用ロジック 低電力	~30 MHz
	ECL, EFL MECL-III	汎用ロジック 超高速	~2 GHz
		計算機キャッシュメモリー	~20 MHz
J-FET SIT	IIL	リニアとの共用, マイクロプロセッサ	
		低電力ロジック	
MOS	PMOS (E-E, E-D)	専用 IC, ローコスト	~10 MHz
	NMOS {E-E, E-D}	メモリー (DRAM) 専用 LSI, メモリー (SRAM)	~20 MHz
	CMOS	汎用ロジックファミリー, SRAM	~20 MHz
	SOS (CMOS)		~40 MHz
	MNOS	PROM	—
	CCD	イメージセンサ, RAM (シフトレジスタタイプ) アナログディレイライン	~10 MHz

接続可能なことが必要である。

IIL では、インタフェース回路を必要とするため、ある程度集積度を上げないと IIL の低電力の利点が生かされないことにより、集積度の大きい専用 IC に用いられる傾向にある。表 6 に汎用ロジックと、その応用分野について示した。

GaAs の製品は、もう数年先のことと思われるので、スピードでは、現在のところ ECL が一番であり、低電力という点では CMOS ということになる。コストは、TTL が最も優位にある。

NMOS, PMOS は、主にメモリー、マイクロプロセッサ等に用いられており、汎用 IC は少ない。TTL については、ローパワーショットキータイプ、ハイスピードのショットキータイプがあり、目的に応じて使い分けが可能である。CMOS においても、ほぼファンクションは TTL の標準タイプと同等なものが用意されている。

最近、TI 社は、さらに TTL で現在の 2 倍の能力を持つものを発表しており、プロセス技術の進歩によ

て、図 1 のデバイスの位置は、徐々に内側に移りつつある。

また、CMOS も、現在最もよく汎用のものがそろっている分野であるが、動作速度は年々向上し、TTL とほぼ同等になっている。イメージセンサー、ディレイライン等で、CCD, BBD 等の素子も市販されており、オーディオや伝送等で、信号処理用に使われている。

IIL は、A/D, D/A 等の回路のロジック部に用いられ、アナログ回路とのインターフェースと混載する形のもが大部分である。デジタル専用では、プロセスは、PMOS が最もローコストで、NMOS がそれに次ぐが、次第に NMOS が優位に立っている。

これは、NMOS は、キャリアが電子であり、移動度がホールより大きいため、同じスピードならペレットが小さくできる本質的有利さがあるためである。

2.3 メモリー

メモリーについては、現在、最も開発の激しい分野であり、日本と米国のメーカーが、スピードと電力、集積度の 3 点でしのぎを削っている。

メモリーのプロセスとしては、バイポーラ、MOS さらに J-FET を基礎とした SIT 等が提案されている。種類も、P-ROM, S-RAM, D-RAM, EP-ROM などあるが、進歩の最も激しい分野は D-RAM で、現在 16 k bit のものが最も多くなりつつあり、64 k bit のものが市場に出はじめているところである。

1971 年にインテル社より 1 k ダイナミック RAM が発売されて以来、ほぼ 3 年間で 4 倍の集積度の向上が指数関数的に継続しており、価格も集積度に反比例して下っている。今後 V-LSI 技術の進展などもあり、この傾向はさらに 10 年程度は進行し、1 Mbit も時間の問題となろう。

これに伴ない、1 フレームメモリーを応用した、画像

図 3 デジタル IC の電力-遅延時間マップ

表 7 専用 IC 応用分野 (電源は除いてある)

民生		
ビデオ	テレビ受像機	チューナー, 選局, IF, ビデオ, 音声, 同期, MPX 復調
	テレビカメラ	ヘッドアンプ, エンコーダー, 同期, イメージセンサー
	VTR	サーボ, エンコーダー, ジグナルプロセス
オーディオ	アンプ	プリアンプ, カーステレオ用アンプ
	チューナー, ラジオ	PLL シンセサイザー, 1 チップラジオ, FM 復調, MPX 復調
	テープデッキ, ラジカセ	コントロール, 信号切替, サーボ, コンパンダー (ドルビー, ADDRESS)
	プレーヤ	PLL-サーボ, CD-4 デモジュレータ
電気機器		リモートコントロール, 温度コントロール
CB		マイコンによる自動化用周辺回路
カメラ		シンセサイザー
電卓		自動露出, 自動シャッター
時計		計算機能 (BCD 基本) + 特殊効果
自動車		超小型, 電卓付等
	EFI (燃料電子噴射),	イグニッションコントロール, 排気ガスコントロール
電子オルガン		信号発生回路
ゲーム機		ゲーム専用機械
産エレ		
電話	電子交換	
	CODEC	
	トーンジェネレーター	
	ディジタルフィルタ (搬送),	スイッチドキャパシタ, フィルター
	トランスバーサルフィルタ	(ディジタルまたはアナログ CCD)
レーダー		トランスバーサルフィルタ
ロボット		マイコン応用
ミニコン		1 chip CPU + 半導体メモリー
	中, 大型コンピュータ	CPU (ECL) + 半導体メモリー
	マイコン関係	CPU, メモリー, フロッピーディスクドライバ, その他
計測		FFT, 超高速オペアンプ (ハイブリッド) IEEE-488 バスインタフェース
端末		CRT 表示, キャラクタジェネレーター
		自動検針電力計

のディジタル処理も実用段階となり、ビデオ技術の分野でディジタル技術がアナログ技術にとってかわるのも近い将来のように思われる。

将来の展望を考えた場合、メモリーと、マイコンの発展による、アナログ信号のディジタル処理の分野は大きな可能性を持っている。なおメモリーについては、本項スペースでは不充分であり、最新技術の動向については、参考文献¹⁰⁾等を参照されたい。

2.4 専用 IC の現状

専用 (カスタム) IC は、リニアではテレビ受像機、ディジタルでは電卓が最初にマスマプロダクションにはいったものであり、ともに日本がその先鞭をとったことは、日本の電子工業の発展に対して大きな寄与となった。

現在、カスタム IC の用いられている分野は、きわめてはっきりしており、1 機種当りの台数の多い電子機器にはカスタム IC が使われていると考えてよい。

これは、IC の設計から量産まで約 1 年の歳月を要し、かつ、その後 2 年ぐらひは使用しないと開発費を回収するのが困難であるという事情によるものであり、開発費は 1 個当りアナログ IC で 1,000 万円以上、ディジタル

では、システムによるが、その数倍のコストを要することもある。年 10,000 個以上がほぼ汎用と専用の IC のコストの分岐点である。

世の中に同じ機種が多数あり、その仕様が変化しないものが、カスタム IC の応用分野であるから、表 7 に示したような分野がある。もちろん、ここにあげたのは、専用 IC の応用の一分野であって、さらに少量であっても、特に小型化の要求される分野では専用 IC が用いられている。これらは市販されていないことも多く全部は網羅できないが、10,000 個/年の大台に乗ることが予想されるもので、システム仕様の固まっているものは、IC 化のメリットがある。

システム仕様のはっきりしない、または変更の可能性のある場合の IC 化は危険であり、米国での CB の規格変更等、最近では大きな損失を招いた例である。

これらの IC は、アナログは、ほぼ 200~500 素子、ピン数 8~42、ディジタルは、1000 素子以上で、ピン数 20 ピン以上程度が多い。

最近のマイコンの登場は、ディジタルの分野で大きな変革をもたらしており、専用 IC の開発がマイコンのソ

フトで代用されたり、汎用 IC による複雑なシステムがマイコンに置き換えられる例が多くなっている。特に計算機のデータ伝送端末や、グラフィックディスプレイ、ディジタイザー等に、マイコンを用いたインテリジェントターミナルが増加している。

マイコンの解説は、すでに本学会誌でなされているので、ここでは述べないが、特に新しい機能の開発競争の激しい分野では、さらにマイコン化が進むと思われる。一方、システムが安定してコスト競争の厳しい分野では、専用 IC の開発が競争の鍵をにぎるであろう。

最近、バイポーラ、III, NMOS等のプロセスを用いて、セミカスタムと称し、素子をディスクリートにある程度作りつけておき、それに最後の配線のマスクをユーザーが作って好みの IC にするというものが、米国をはじめとして、かなりのメーカーから発売されている⁹⁾。

これらのセミカスタムと呼ばれる IC は、専用 IC の場合の約 20% の費用で、かつ 3 カ月程度の開発期間で開発可能であり、~5000 個/年程度までの用途には適している。

2.5 ハイブリッド IC

ハイブリッド IC は、回路応用の立場からは、ディスクリート回路とあまり変わらない。高周波領域や、温度ドリフトに対する仕様が厳しい分野では、ディスクリート回路よりも高性能を狙うことができることもあって、小型化、高信頼性を要求する分野では、1 ロット数個といったものまでハイブリッド IC 化されている。

ハイブリッド IC は、前記 A/D 変換等のブロック等に見られるように、汎用のものもごくわずかあるが、大部分はカスタム IC として、1 ロット 1000 個以下のもので、少量多品種の分野で用いられている。テレビ受像機中にも、若干ハイブリッド IC 化したファンクショナルブロックが用いられ、オーディオ用のパワーバック、電源用のパワーバック等、市販されているものもある。

量産して市販されているものは (a) A/D, D/A 等の高精度の抵抗等を必要とするもの、(b) 電力用、(c) 高周波または超高周波アンプ、等に限定されている。ハイブリッド IC を使用する立場からは、コスト/パフォーマンスが、ディスクリート回路またはモノリシック回路に比較して良ければ使用するという立場で考えればよい。コストについては、すべて規模に依存するので難しいが、本講座の第 2 回を参考にしたい。

回路応用については、基本的にはディスクリートと同じであり、特に高性能を狙うもの以外は、厚膜 IC で良い。厚膜と薄膜の差は、精度以外はあまりないが、超高周波のストリップライン等には薄膜しか応用がで

ない。厚膜はローコストであり、最近さらに鉄板の上にホーロー引きの基板なども登場し、さらにローコストに移行しつつある。

さらに、ピームリード、フェースダウン等の IC チップの実装技術の進歩によって、IC チップを数多く取入れて規模の拡大が可能となっており、数年前にトランジスタ等をそのまま実装していた時代とは様相を異にしている。

ハイブリッドの特徴は開発期間の短縮にあり、最近ではコンピューターによる自動配線、配置、パターンレイアウト等により、サンプル出荷 1 週間といったものまで登場している。将来この傾向はさらに続くと思われ、さらに、少量多品種、高集積化が進むと思われる。

ここ数年来、混成 IC の市場規模は、モノリシックの 10% 程度で安定しており、今後もこの傾向は続くと思われるが、IC 応用回路としては技術的にも古く安定しており問題は少ない。実際にハイブリッド IC を使用する立場で考えると、熱的考慮、環境変化に対する信頼性等、実装技術に関するノウハウが大切であって、回路的問題はモノリシックよりは少ない。それだけコストもアップするから、規模、要求性能、コストのバランスに注意する必要がある。

ハイブリッド IC は、モノリシックとプリント板の間にあり、いづれなくなるとの見方も一部にあったが、現在は IC が高密度化すれば、さらにそれを取込んで高密度化する方向にあって、着実に市場を伸ばしているのを見るのが正しい。これは、図 4 に示す最近 5 年間の IC の生産額の推移よりも明らかであり、特に、1 個当りの価格で見れば、アナログ IC を 1 とした場合、ディジタル IC が約 3 倍、ハイブリッド IC が約 4 倍ということから見て、回路規模の大きいことがわかる。システムの設計にハイブリッド IC の応用を今後積極的に検討する必要がある。

ハイブリッド IC の回路設計者から見た利点をまとめ

図 4 最近 5 年間の IC 生産額の推移 (通産省機械統計, 54 年は予想, 日経エレクトロニクスより)

表 8 プリント板の特性

	固有抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$)	誘電率	耐湿性	難燃性	コスト	銅との粘着力
紙フェノール	$10^{11} \sim 10^{12}$	5~6	×	×	◎	○
紙エポキシ	$16^{16} \sim 10^{17}$	3~4	○	△	○	×
ガラスエポキシ	$10^{16} \sim 10^{17}$	3~4	○	◎	△	×

ると、

- (i) プリント板の約半分の大きさになる、
- (ii) 部品の性能は、個別部品と同じか、または有利、
- (iii) 小型化、部品の一体化による信頼性の向上、
- (iv) 放熱の良さ、
- (v) 回路変更容易（モノリシックに比較して）、
- (vi) 開発コスト小、
- (vii) 調整（抵抗トリミング等）可、

等が大きい特徴で、ディスクリット部品で構成した回路の設計を変えず IC 化できることが魅力となっている。

4. 実装上の注意

実際に IC を何らかのシステムに応用したいという場合、メーカーのハンドブック等を引用して、適当な回路を構成すると、実際はなかなか思う通りの結果が得られないことが多い。信号の漏れ、パルス性雑音による誤動作、発振、温度ドリフト、動作不完全といったことが実際に問題となる。また、マスマプロダクションでの信頼性を要求される分野では、基板の質も重要である。これから考慮すべきこととして、

- (a) 基板材料の選択
- (b) パターン配置、シールド
- (c) 放熱

等が問題となる。

まず基板材料で、最も広く用いられているものに、紙フェノール、紙エポキシ、ガラスエポキシの3種がある。諸特性を表8にまとめて示してある。

電気的特性は、紙エポキシが最も良いが、難燃性、耐高温性等で結局、ガラスエポキシが最も信頼性の面で有利となっており、高信頼性を要求するデジタル回路で多用されている。他の2つは、パンチング（プレス）で、一括穴あけが可能で、量産性に富むため、民生用テレビ等で用いられている。

量産ラインでの IC の直付けは、ハンダフローのバスに浸けられて高温による特性劣化と、実装後に基板が反ったりする物理的ストレスが IC の足にかかり、隙間を生じ、湿気が侵入しやすくなる等、信頼性の面と故障時のサービスの点から、IC ソケットを用いるのが一般的である。

高周波回路では、IC のリード線のインダクタンスと浮遊容量によるカップリングを減らすため、直付けを行う場合が多い。

パターン配置、シールド、デカップリングといったものは、非常に経験的なものが多く、原則として、

- (a) 入力・出力の分離
- (b) アナログ部の分離
- (c) 配線はできるだけ細く、アースはできるだけ太く

といった諸点に注意する。

非常に簡単な、アナログ部とデジタル部の混在したパターンを写真1に示す。アナログ部はべたアース、デジタル部は細い配線で浮遊容量を減らしている。デジタルは多くの場合、べたアースは浮遊容量の増加を招いて不利である。浮遊容量は、プリント板の比誘電率を約5.0とすると、1 mm 厚のもので 1 cm^2 対向パターンで、

$$C = 5 \times 8,855 \times 10^{-12} \times \frac{10^{-4}}{10^{-3}} = 4.43 \text{ pF}$$

となる。1 mm 幅、10 cm 長さの配線が、1 mm の厚さのべたアースの上にあると 5 pF 程度の容量を持つことになる。配線が並行して走っている場合も、実際はいま計算した値とあまり変わらない容量を持っているから、配線間のカップリングには、きわめて注意しなければならない。上面と背面で直交する場合には通常あまり問題が起こらない。

また、静電誘導だけでなく、図5に示すように、信号の正負配線間が離れていると、電磁誘導により雑音を生

↑デジタル部 ↑アナログ部
写真1 アナログ・デジタル混在基板例

図5 プリント基板のカップリング

じる。これはトランスからの漏洩磁束のようなものと、近くを流れる信号電流によるものがあり、特に MOS-IC で入力が高インピーダンスのものと、TTL 等のように波形が鋭く電流の多いものが混在する場合に問題となる。オーディオアンプのハムも同様である。行き帰りの線が近接して走っている場合(図5)には、磁束はキャンセルして影響が出ず、他から妨害も受けにくい。

プリント板上の配線だけでなく、基板相互の接続に用いられるコネクタも重要である。コネクタ類では、最近種々の便利なものがあり、特にアースラインと信号ラインを交互に平行に束ね、特性インピーダンスを 75Ω にしたものなど、分布定数線路的考え方のもも出ており、トラブルを回避するうえできわめて有効である(写真2)。

受動部品では、デュアルインライン型のパッケージの普及につれて、IC と同じ足の間隔、寸法を持った実装上便利な部品や、テスト用のピンの出ているパッケージ等が市販されており、穴の間隔を一定に規格化した基板への実装等に便利である。このようなコネクタ、部品の例を、写真2、写真3に示す。電源のデカップリングコンデンサもタンタル製で小型のものが特にパルス用として市販されている。

放熱については、放熱抵抗の計算等、一応できないこともないが、実際は実装してみる以外、理論的予測はむずかしい。機器により、動作保証温度範囲が異なるが、民生機器は $-20^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$ 程度、自動車等では $\sim+80^{\circ}\text{C}$ ぐらいまで考えねばならない。

IC の信頼性は約 25°C で1桁変化するから、高信頼性を要求する場合、IC の温度上昇をできるだけ避けねばならない。パッケージの熱抵抗は、TO-5 で、約 $150^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 、DIP (エポキシ、14ピン) で $200^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 、DIP (セラミック、42ピン) で $100^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 程度となり、かなりばらつくが、一般に設計としては、ペレット温度と周囲温度の差を、 50°C 以内にするのが普通であり、信頼性の面からペレット温度を 120°C 以下に保つとすれば、 75°C が限界温度となる。ただし、MOS-DRAM 等は温度が上ると漏れ電流により誤動作しやすくなるから、温

写真2 標準プリント基板用コネクタ、デカップリングコンデンサ、ソケット類

写真3 実装に便利な機構部品

度はできるだけ低い方がよい。

実装上では、プリント板を縦形にして、自然の対流の風通しを良くするとか、パワートランジスタはケースの外に出す等により、必ずしもファンを必要としない場合もあるが、測定器、計算機ではファンの使用が普通となっている。ファン使用の場合には、実際に実装して試験し確認することが必要である。最近ヒートパイプ等を用いたものも民生用等でも見られるようになり、今後さらに用いられることになろう。

以上、実装上の注意をまとめると、結局、寄生素子(浮遊容量、インダクタンス)の減少、相互のカップリングの減少、温度上昇の阻止といったことを注意することである。なお、ユニバーサル基板に錫メッキ線等でハンダ付けした基板は、浮遊容量が小さくトラブルを起こしにくく、プリント板にするとトラブルが多くなることから、最初の実験でうまくいったからといって安易にプリント板を作るのは危険である。

同様に筆者の経験では、アンプゲインが 60dB を越すあたりから入出力のカップリングや、電源を通しての

カップリングでトラブルを生じるので注意したい。同じ電圧ゲインが60 dB でも、出力電流が大きいと電源がゆさぶられて入力に影響が出やすい。定電圧電源でインピーダンスの下るのは数十 kHz までであり、それから上はコンデンサーによるデカップリングが必要である。電解コンデンサーも数十 kHz からリード線のインダクタンスでインピーダンスが上昇するため、セラミックまたは写真にあるようなパルス用タンタルコンデンサーを電源に並列に入れる必要がある。

〔参 考 文 献〕

- 1) R. J. Widlav: Design Techniques for Operational Amplifiers, IEEE J. SSC-4, 4(1969) 184-191
- 2) B. Y. Kamath, et al.: Relationship Between Frequency Response and Settling Time of Operational Amplifiers, IEEE J. SSC-9, 6 (1974) 347-352
- 3) A. Grebene: Frequency Selective Integrated Circuits Using Phase-Lock Techniques, IEEE J. SSC-4, 4 (1969) 261-225
- 4) R. Muller, et al.: Energy per Logic Operation in Integrated Circuits: Definition and Determination, IEEE J. SSC-11, 5 (1976) 657-661
- 5) H. Berger, et al.: Merged Transition Logic (MTL) A Low Cost Bipolar Logic Concept, IEEE J. SSC-7, 5 (1972) 340-346
- 6) P. Cook, et al.: Comparison of MOSFET Logic Circuits, IEEE J. SSC-8, 5 (1973) 145-158
- 7) K. Komatsu, et al.: Second Generation ICs for Color TV Receivers, IEEE Trans. CE-24, 3 (1978) 176-190
- 8) 二宮: 180 Mb/s A/D コンバーター, テレビ誌, 32, 1 (1978) 46
- 9) 小林: 米国に於けるセミカスタム LSI 最近の動き, 日経エレクトロニクス, 197 (1978)
- 10) IEEE: Special Issue on Semiconductor Logic and Memory, IEEE J. SSC-12, 5 (1978)
- 11) 着実に進歩するハイブリッド回路技術, 日経エレクトロニクス, 148 (1976)

— 今 月 の 表 紙 —

VP-2 用編集制御卓 HPE-1

東芝アンペックス株式会社

HPE-1 は、マイコン応用のコンパクトな卓上形編集機で、VPR シリーズの1インチヘリカル VTR を使用してのオンライン編集やオフライン編集用に設計されたもので、この編集卓には高度の番組制作のための非常に幅広いオプションの選択ができます。オプションの編集用エフェクトスイッチャと併用すれば、さらに高度の編集が可能です。放送規格の性能を持った VTR シリーズ VTR の正確な制御性能と相まって、このシステムが数段高価な編集システムに匹敵する制作能力を持っていることが容易に理解されます。

高度の機能をもった VTR を、さらに高度に使いこなしたい、これがテレプロダクション業界の要望です。HPE-1 は、VPR-1/2 を使用したビデオテープ編集に正に適合した、高度の機能を持った最新の編集装置です。

簡単な編集機の操作でありながら、HPE-1 は世界最高水準の1インチヘリカル VTR、VPR-1/2 による編集において、あらゆる機能を発揮し能率よく編集をすすめることができます。

HPE-1 は、編集をたやすく迅速に進めるためのあらゆる工夫が凝らされており、VPR-1/2 のバリエアブルスピード再生やシャトル機能が新設計のジョイスティックにより自由に操作できます。

操作機能

- VTR のスピードと動作モードが、一つのジョイスティックで制御可能。
- ビデオ／オーディオの分離編集が可能。
- 内蔵アンプ、スピーカーにより自動切替えオーディオモニターが可能。

編集制御部

- プレビュー完了後、自動的にカットイン点への頭出しが行われ、改めて頭出し操作の必要なし。
- リアルタイム以外の再生速度でも明瞭な音声モニターができるオーディオピッチコントロール(オプション)。
- フレーム単位の編集点修正が可能なインサート編集機能。
- オートマティック ダイアログ リプレースメント (ADR) オプションにより、音の自動吹替え編集が可能。
- デジタル表示付タイムコードリーダーの併用により、タイムコードでもコントロールトラックのカウントでも編集が可能。
- アニメーション リモートコントロール(オプション)の使用により、動画制作卓の位置からのリモートアニメーション制作が可能。
- エディットディシジョン リスター (オプション) の併用により、編集データを RS-232 の形で出力するので、テレタイプを接続してハードコピー又はパンチテープが得られる。