(第 1 回)

IC 化時代における回路設計

日本電気株式会社 川 崎 満
牛 山 靖 一

1. ま え が き

エレクトロニクスの発達によって、以前には予想できなかったことも容易に実現できる時代になってきた。そして、このようなエレクトロニクスの進歩、発展に大きく寄与してきたもののひとつは、トランジスタの発明と IC 化技術の進歩であろう。

そして、いまさらに IC, LSI は Si 技術の進歩に支えられて超 LSI へと指向し、ますます応用分野が広がり発展して行くことが期待されている。

このような大きな技術の流れの中にあって、われわれのテレビジョン技術の分野もその恩恵を受け、日常の回路設計手法が大きく変化してきている。すなわち、真空管、トランジスタの時代においては、装置設計者の主な仕事は回路設計であったが、IC の時代に入ってそれは変質しシステム設計的になり、具体的な回路はブラックボックスとなり、極端な場合は、回路設計を知らなくても装置の設計ができるようになった。これは特にデジタル回路において著しい。

さらに IC 化が進んでモジュール単位の LSI の時代に入ると、装置設計者の仕事は回路とはほとんど無関係になり、実装設計が主になるであろう。これは電卓やデジタルウォッチの分野ですでに現実のものとなっている。

このような中で装置設計者に要求される技術には、真空管、トランジスタの時代とは違ったものがあると考えられる。設計というものは本来 Analysis ではなく Synthesis であるから、本講座においては、回路の解析にはあまり触れずに、回路を構成するための具体的な条件について、それらの新しい技術を含めて解説される予定である。

2. IC 化時代の設計における注意事項

2.1 IC 化時代の設計の流れ

図 1 に個別部品時代の設計の流れを示すが、従来は新製品開発の要求に対し、まず設計目標をたて、全体的な仕様を決め、次にその仕様を細分化して、おのおのの項目について細部の具体的な検討を行い、最後にそれらの細部の検討結果を再びシステムのまとめで、所期の設計目標を満足しているか否かを判定し、満足している場合は試作を開始し、不満足の場合は、細部の設計を再検討するという方法がとられた。しかし図 2 のように IC 化時代においては、新製品開発の要求に対し、設計の目標をたてると同時に IC または機能ブロック的なパーツの検討を行い、それらを組合せた場合の予想特性を推定し、それが設計目標と相容れるか否かを判断し、相容れない場合は個別部品による構成やカスタム IC の開発を検討し、再びそれらを組合せた場合の特性を予想し、満足する場

図 1 個別部品時代の設計の流れ

“Applied Solid State and Integrated Circuits; 1. Circuit Design Techniques in ICs Age” by Mitsuru Kawasaki and Yasuichi Ushiyama (Nippon Electric Co., Ltd., Fuchu)

図 2 IC 化時代の設計の流れ

合に設計仕様の決定に入る。また満足しない場合は設計を断念する場合もあり得る。その後の流れはほとんど図 2 の場合と同じであるが、最終的に仕様を満足しているか否かの判断で否と出た場合、それが IC の基本的な特性による場合は、要求そのものにもどって検討し直さなければならない点異なる。次に設計の流れの中で気づいたことを述べる。

2.2 設計目標のたて方¹⁾

設計とは、仕様を満足する、いくつかの計画の中から最も有利に実現できる計画を見い出すことで、仕様には次の 3 つの要素が必要である。

- ① 規格 製品に対する限界条件
- ② 納期
- ③ 価格 製造原価および販売価格

この設計において基本仕様の決定が一番重要で、基本方針が決まれば設計の 50% が完了したといっても過言ではない。基本方針の決定には下記の点の把握が必要である。

- ④ マーケティングによる市場動向の把握(価格, 性能, 機能, 開発時期, 商品寿命, セールスポイント, 他社の動き等)
- ⑤ 過去の自社の実績の完全な把握(コスト, 性能)
- ⑥ 周囲の技術動向(部品, 方式)

なお、仕様の内容を改善する場合は、近い将来の目標を現状の半分または 2 倍程度にとり、実現可能な 1 ステップとして現状の 0.7 倍または 1.4 倍に目標をおくといふ。改善の項目がコストであれ重量または消費電力であれ、3 割程度の改善が一応世の中で評価され、また新製品を開発するに足る規準ではないかと考えられる。

2.3 IC 化時代における設計者の心がまえ

(1) 広い情報網の確保と利用

設計の流れの項でも述べたように、新機能 IC の出現は回路設計の基本的な変更をきたすばかりでなく価値の大幅な変更さえ引き起こすことがある。極端な場合には、新機能 IC の開発自身が新製品の開発を促すことすらある。例えば半導体メモリーの出現はビデオ信号の処理に大きな変革を起こしたし、LSI の出現は電卓の価格、性能に絶大な影響力を与え、マイコンの出現は新しい商品の開発を促した等、枚挙にいとまがない。したがって現在の装置設計者は特に IC を中心とする機能要素に対し常に広い情報網を確保し、それらの情報網を整理し必要に応じて使用できるようにしておくことが大事

である。

(2) 判断力の養成

設計とは、ある限られた制限の中で特性を発揮する素子を組合せて、ある条件の中で与えられた動作をする回路を構成するときの判断の集積であるから、判断力の養成が重要であることは当然であるが、IC 化時代といえども回路を構成するとき必ずしも IC を利用するのが良いとは限らない。個別部品で構成した方がはるかに安価に小型に構成できることも多い。

また現在テレビカメラや VTR 等において、回路の大規模な IC 化(ハイブリッドまたはモノリシック)²⁾が行われているが、どの部分まで IC 化するかということは IC の歩留り(コスト)と直接関係し、何が何でも IC 化するというのはまったく意味がない。

したがって、図 3 のようにまず当面している回路設計において一番重要な設計ポイントの抽出を行い、次に個別部品による回路構成に対し、市販の IC を利用することにより、その点に関し 30% 以上の改善が可能かどうか検討し、可能であれば IC を利用する。もし不可能な場合はカスタム IC の開発による可能性をあたり、可能であれば着手し、不可能であれば個別部品を利用して回路を構成すれば良い。

実際にはポイントを 1 つに絞り切れないこと、開発費

図3 回路構成の決定

の償却の問題等から 30% という値を見直す必要がある。この判断が最終的な商品の性能、コストと直接結びついているため重要である。

2.4 IC のデータの読み方

一般的には IC はブラックボックス的な取り扱いになるため、回路設計者は IC の中身の詳細については知らない場合が多く、ほとんどはメーカーの作成したデータシートが唯一の頼りになる。したがって、データからどこまで読み取れるかということが設計者の力を示すことになる。次にデータシートに書いていないことが多い項目で、いくつかの注意点をあげると、

- (a) 規格上の最大値、最小値と実際のばらつき
の分布 データシートでは、最大・最小値をかなり広くとってあるので、分布をよく見きわめないと冗長性の多い設計になってしまう。数を流すと機器の特性が安定して来るのは、折り折りの設計の補正によりこれらのばらつきに対して自動的に補正した結果の表われである。
- (b) 消費電力と放熱 データシートから個々の使用条件下における消費電流を算出し、それに対する適切な放熱設計を検討するのはかなり困難で、現状ではある程度実際に近い形でシミュレーションする以外にないようである。
- (c) S/N OP アンプや差動増幅器を低雑音を必要とする所に使用する場合は S/N に注意する必要がある。電源回路、偏向回路、ゲインコントロール回路等がこれに相当する。

2.5 IC のユニークな使い方

海外の製品の回路を検討すると、リニア回路にしてもロジック回路にしても非常にユニークな作り方をしている

る例が数多く見うけられる。それに対して日本のものは、回路を系統的に簡単にトレースできるが冗長な設計のものも多い。特許等の問題に注意する必要があるが、できるだけ自分のセクション以外の社内外の情報を整理分類して使用するとともに、設計完了前に違った角度からの検討が必要であろう。

2.6 IC の選択に関する注意

(1) セカンドソースの問題

IC の選択で一番問題になるのはセカンドソースの問題であろう。IC の場合はトランジスタと違って置き換えがまったくないため、その IC が万一廃品種になった場合、ユニットまたは装置そのものが廃品になってしまう恐れがある。したがって、原則としてセカンドソースのある品種を使用すべきである。こうすると同じ設計に対し安い IC を利用したり、納期的なトラブルをさけられるメリットもある。

万一セカンドソースのない IC を使用する場合は、そのメーカーの性格、経営状態、またその IC の開発された背景をよく調べる必要がある。ヨーロッパのメーカーはこれらの点に特に神経質になっている。例えば RCA にはクロマ処理用の IC として NTSC 用の CA 3126 Q と PAL 用の CA 3128 Q があるが、RCA は NTSC 方式の国のメーカーであるから NTSC 用の方が生産中止になる可能性が少ないのではないかと理由で、外付部品が多く必要であるにもかかわらず CA 3126 Q を PAL 用に利用している例がある。

(2) 民生用 IC の利用

一般民需用の IC の利点は、何ととっても低価格にある。したがって、それらを上手に利用したいところであるが、2, 3 設計上留意すべき点を述べる。

- (a) IC の製品寿命 IC のメーカーは技術革新等でその IC の需要が減少し採算がとれなくなると、一方的に生産の集約を行う恐れがある。しかも、ほとんどの民生用 IC にはセカンドソースがない。したがって IC の余命と機器の設計寿命、アフターサービス、廃品時の処置を検討しておくことが必要である。
- (b) 特性の絶対値とばらつき 民需用の IC の特性が必ずしも放送用に使えるものではなく、ばらつきも多い場合がある。
- (c) 広範な周囲条件下の特性の確保 特にきびしい環境条件下での特性については考慮を払っていない例が多いので、確認が必要である。

(3) 民生用、通工用、MIL 規格用の IC

一般に同じ品種の IC に対しても、民生用 IC と通工用 IC と MIL 規格 IC に分類されている。データシー

トから見限り、その差は下記の3点にあると思われる。

- ① 使用温度範囲の広さ
- ② 特性のばらつきと電源に対する余裕度
- ③ パッケージ (プラスチック/セラミック)

しかしながらペレット自身は区別して作っているわけではないので、その差はもっぱらスクリーニングの差になっている。これが価格差になって現われ、一般用では70~80円のTTL ICも、MIL規格品になると2桁程度価格が違うことになる。一般用のICは通常0.2%~0.5%程度の不良率を予期しておかないとだめなようで、一般用ICを価格面から使用しなければならない場合は、受け入れ時点でのユーザー側のICのスクリーニングが是非必要となる。小規模の生産の場合は、プリント板として組上った段階で行うことも可能であるが、大規模な生産に対してはIC自身の事前のスクリーニングが是非必要である。スクリーニングは主に次の3つの方法によって行う。

- ① 温度サイクル これは低温(-55~-35°C)と高温(125~150°C)にて各30分間位放置することを2~3サイクル繰返して熱衝撃を与え、主にボンディング関係の不良を発見するためのものである。
- ② 高温放置 150~175°C (ケースがプラスチックかセラミックかによって異なる)で24~48時間位、窒素ガス中に放置するもので、主にペレット自身の特性劣化の発見を行う。一般に15°Cの温度上昇で2倍の加速になるといわれており、60°Cで約16倍、

120°Cでは256倍の加速試験を行ったことになる。

- ③ 衝撃落下、加速度試験 これは落下(たとえば75cmの高さから筐の板へ3回落下させる)、また回転により数百G~数千G相当の加速度を加えて行うもので、ボンディング不良、チップのクラックを発見するために行う。

ICのスクリーニングのフローを図4に示す。

なお、ここにある電気的特性検査は、いわゆる性能以外に特に消費電流に注意すべきである。現在、電気的には申し分なく動作していても、消費電流が規格より多いものは近い将来故障する可能性が大であるので除去すべきである。

3. 設計における割り切り方

良い設計とは、コストパフォーマンスが完全にバランスがとれた機器を実現することをいう。いいかえれば、上手に割り切ったものが良い設計ということになる。次に、いろいろな面からの割り切り方について考えてみる。

3.1 価格面

価格から割り出した原価、原価から割り出したパーツの価格を越えるものは、例えそれが良いものであっても一般的には使用できない。したがって特性的に不満があっても、それをわざわざ得ない場合がある。民生用、通工用、高信頼度用と分けたとき、パーツの価格はステップ的に上昇する。

3.2 最終的な総合目標特性

例えば、主特性、安定性、信頼性等の特性は、システム的に各ブロックのバランスがとれていることが必要である。全体の系を支配する主要な素子の特性に対して周囲の特性は、それに対してあるマージンをとっておけば充分である。例えば、

- ① S/Nは10 dB以上の差があれば影響をほとんど与えない。
- ② 周波数特性は5 MHzの変調度に劣化をきたさない程度、すなわち5 MHzでのレスポンスが±0.5 dB以内であれば良い。

などである。性能を割り切るにしても、そこには限度がある。一般の放送用機材に対する大まかな特性の検知限、許容限を知っておくことは設計上必要なことである。それらを表1にまとめる。これらの数値は経験的に選んだものもあるが設計上有効な資料となろう。

3.3 マーケット

機能の割り切り、例えば利得調整をローカルに行うにはポリウム1個ですむが、リモコンしたい場合は複雑な可変利得回路が必要になる。したがって、市場性から判

図4 ユーザーにおけるICのスクリーニング

表 1 放送機器における各種特性の検知限, 許容値

項	目	検知限または実用値	許 容 限
色の再現に関するもの	分光撮像特性	波長にして 4 nm 以下の移動	波長にして 10 nm の移動
	利得の変化	1%	5%
	ベDESTALの変化	0.5%	2.5%
	r カーブの変化	2%	5%
	バーストの位相	1°	3°
解像度に関するもの	周波数特性 (6 MHz にて)	—	-2 dB
	撮像管の電極電圧の安定度	0.1%	0.5%
	フォーカス電流の安定度	0.1%	0.5%
	エッジ信号のレベル	—	変動<3 dB
S/N	ランダム雑音	差の検知限 1 dB	33 dB (注) 現状でのソース源の S/N カメラ 53 dB, VTR 49 dB 送信機 52 dB
	同期性ノイズ	40 dB	34 dB
	ハム雑音	66 dB	54 dB
電源回路のハム	同期性のものは除く	0.3 mV _{p-p}	1.0 mV _{p-p}
そ の 他	サグ, スミヤー	0.5%	2%
	DG, DP	現状でのソース源の カメラ DG 5% DP 2° VTR 3% 3° FPU 1% 1° 送信機 3% 1°	総合特性として DG<±20% DP<±10°
	レジストレーション, コンバー ジェンス	走査線 0.5 本分	走査線 2 本分
	ジッター	水 平	30 μs
		カ ラ ー	0.5° _{p-p} 以下
	SC 周波数安定度	±10 Hz	±20 Hz

断して不要なりモコン機能は利得調整に限らず, できるだけ除去するのがよい。

同じテレビカメラでも, ITV カメラ, ENG カメラ, スタジオカメラでは, おのずと特性が異なり, それぞれの用途に従って性能的な割り切りを行っている。

3.4 生産性

生産にあたって一番重要なものは, ばらつきの少ないことと, 生産のスムーズさであろう。したがって, 特性的には良いが選択しなければ使えないもの, 納期的に不安定なものは事実上使えない。ただし, それが機器の基本的な特性を左右する場合は選択もやむを得ないが, 価格は大幅に上昇する。撮像素子, 受像素子の解像度, プレミッシュ, S/N を左右する初段素子, 分解光学系の色の再現性, 偏向コイルの走査ひずみ等がこれに相当し, 選別品と無選別品で 1 桁位の価格差がある。

3.5 時間的制約

通常, 製品の開発には必ず納期が決められているが,

常に間に合うとは限らない。このようなとき商品化計画との兼ね合いで, ある期間内の成果を商品としてまとめる必要もでてくる。このようなときは, 今後の開発改良のステップを明確にし, 製品への対応, 市場に出した製品に対する対応を明らかにしておく必要がある。

4. IC 化時代の設計と回路技術者

IC の一般化に伴って機器の性能は IC の組合せで決まり, IC さえ同じであれば機器の性能は機器を作るメーカーにはまったく依存しないものになってくる。さらに IC の集積度が進み, 小型化, 低消費電力化が実現でき始めると, 実装上の自由度が非常に大きくなってくる。このように技術的に充足された時代の設計としては,

- ① 素子の独占 (特長ある素子の自社開発, 独占)
- ② デザイン性または操作性を重視した商品の開発
- ③ 大幅なコストダウン

の 3 つが考えられる。①は限られたメーカーしか出来な

い、③は生産規模によりほぼ決まってしまうとすると、②の項目が設計上重要なウェイトを占めてくる。したがって、この時代においては回路設計者といえどもデザイン的なセンスをみがく必要がある。

5. カスタム IC の開発について

IC を応用していこうとする場合の考え方の基本は、われわれが取り扱っている電子機器システムの整理と、その IC 化をはかることである。

そして、そのことによって、どのような利点を取りこむことができるかを常に考えて行く必要がある。

IC 化を押し進めることによる主要な利点を考えてみると、次のとおりである。

- ① 高信頼性
- ② 高安定性

表 2 半導体 IC と薄膜・厚膜 IC との比較

	半 導 体 IC	薄膜・厚膜 IC
回路素子	単一材料で R, C 能動素子が実現できる	R, C, L は実現し得るが能動素子は実現できない
使用材料	配線、端子を除いては単一材料ですむ	配線、端子を除いて単一材料形式のものもある
信頼度	$10^{-6} \sim 10^{-8}/\text{hr}$ が万能、個別部品回路の 1/100 程度以上にすることができる	$10^{-6} \sim 10^{-7}/\text{hr}$ で、やや低い
製造原価	量産されれば個別部品回路の 1/2~1/3 となる	半導体 IC より高いが、それほど量産されなくてもよい
素子密度 R, C, L の 範囲	$10^4 \sim 10^5/\text{cm}^2$ R: 数 10Ω ~ 数 $10\text{k}\Omega$ C: 100pF	$10^2 \sim 10^3/\text{cm}^2$ R: $10\Omega \sim 100\text{M}\Omega$ C: $\sim 0.1\mu\text{F}$ L: $\sim 100\mu\text{H}$
素子定数の 誤差	$\pm 20 \sim 30\%$	$\pm 10\%$ 以下
温度の影響	大きい	小さい
湿度の影響	大きい	小さい
素子間干渉	問題となる	少ない
高周波、高速性	素子としては個別部品よりやや劣るが、IC としては適する	個別部品を使用したものと変わらない。むしろ寄生素子の影響が少なくなる
電力 放射線の影響	数 W まで扱える 大きい	数 W まで扱える 小さい
微小電力化	バイポーラトランジスタを用いたものは、薄膜・厚膜回路にやや劣るが、MOS FET を用いたものは微小電力化し得る	高抵抗を使用、半導体 IC より微小電力化し易い
量 産 性 回路設計の 難易	きわめて高い 回路の選択、設計の自由度が制限される。トリミングし難い	半導体 IC より劣る 回路の選択、設計の自由度は高い、トリミングできる
適応回路	量産性の高いデジタル回路、標準化アナログ回路、能動素子の多い回路	受動素子の多い回路、アナログ回路、高抵抗・高精度素子を要する回路
開 発 費	1,000 万円以上	数十万円~200 万円

- ③ 小型・軽量化
- ④ 経済性の向上
- ⑤ 機能部品化と使い易さの向上、省力化
- ⑥ 高周波、高速性に適した回路構成

IC には、大別して半導体 IC (モノリシック IC)、薄膜・厚膜 IC (一般には能動素子を合わせたハイブリッド IC である) がある。半導体 IC と薄膜・厚膜 IC との比較を行ったのが表 2 である。

カスタム IC を開発して行く場合、一般的にいうて、量産化の点ではモノリシック IC の方が有利であるが、経済性について考えた場合には、どのような回路を IC 化するか、またその IC 化の程度をどの程度に押えるか、という点からの検討が必要である。そこで、簡単に両者を比較してみると、一般に放送技術の分野では受信機などの一部を除いては数量的な限界から量産効果が得にくいという問題があり、ハイブリッド IC の方が有利なことが多い。

また、ハイブリッド IC の場合、装置設計者が個別部品で組んだブレッドボードの性能がほぼ 100% 基板上に再現できる点が、IC 化に際し非常に有利である。モノリシック IC では寄生容量の問題もあり、ブレッドボードでのシミュレーションが非常に困難である。

最後に、開発納期の点から比較してみると、厚膜 IC の場合、最短納期は 4~6 ヶ月、薄膜 IC の場合 5~7 ヶ月、モノリシック IC の場合 10~18 ヶ月程度かかる。開発納期は特に製品寿命の短い機器にとっては重要な問題である。ライフサイクルが比較的短い機器については、納期の面からハイブリッド IC にメリットがある。

6. IC 設計者の回路に対する対応と装置設計者の IC に対する対応

一般的に IC 回路技術者の設計したビデオ IC は使いにくい。その理由は、

- ① 消費電流が大すぎる (通常 20 mA 程度で 1 桁位大きい)
- ② 利得がありすぎる (通常のビデオ回路は 0 dB の伝送が多いのに対し 20~40 dB 程度ある。せいぜい 10 dB あればよい)
- ③ 外付部品が多すぎる。
- ④ ダイナミックレンジが取れない (通常 $0.7\text{V}_{\text{p-p}}$ に対し少なくとも 3 倍程度必要)
- ⑤ 入力インピーダンスが低すぎる (結合コンデンサが大きくなって不利、数 $\text{k}\Omega$ 以上必要)

等である。これはできるだけ 1 種の IC で多方面に使えるようにとの配慮もあろうが、基本的には装置側の要求から作られたものでないからであろう。この点で両者の

よりいっそうの接触が望まれる。

装置側としては、今後 IC をいかに取り込むかということが大きな問題になり、カスタム IC の開発要求が増すであろう。しかし、IC 側でそれらの要求を満たせる状況にはないと考えられる。したがって、装置側としては IC のパターン設計まで行う位のことを考える必要がある。

ハイブリッド IC については、付加価値の点からもパターン設計からさらに進んで、IC の製造まで検討すべき場合もある。すなわち、個別部品で組んだときの部品代とハイブリッド化した IC の価格は、数量にもよるが 2～5 倍程度になる。IC が機能としてまとまって入手できるので、組配、検査工数が低減でき、トータルコストとしては押えられるが、IC を外注している限り大規模で IC 化すればするほど社内の付加価値が下るという問題が発生する。

7. む す び

最後に、現在装置の開発にたずさわる者として、IC に関する若干の要望をまとめ、むすびとしたい。

- ① 低電力化 先に述べたように 20W 程度の機器の設計において 10 mA (120 mW) の消費電流は非常に大きな割合となる。単機能 IC としてはせいぜい 2～3 mA しか配分できない。例えばビデオ用 IC、オペアンプの低電力化、入出力電位差 0.5V 以下の低損失シリースレギュレーターなどがこれにあたる。
- ② 広帯域化 ビデオ回路に使用できるオペアンプ。
- ③ 高スピード化 通常のビデオ回路で取り扱うパ

ルスの最高周波数は 4 倍のサブキャリア周波数 (14～18 MHz) である。この周波数以下で使用できる低電力ロジック素子。

- ④ 高 S/N 現在テレビカメラを初めとする信号源の S/N は年々改善され、まもなく 60 dB の時代を迎えようとしている。このために、前述のように IC の S/N は少なくとも 70 dB 以上とっておく必要がある。
- ⑤ 撮像素子の特性⁸⁾ 現在 CCD 等の固体撮像素子の開発が急ピッチで進められており、現在主に素子数の向上に努力がそそがれているが、現在の撮像素子のレベルに達するには、かなりの問題を残しているように思われる。

〔参 考 文 献〕

- 1) 荒木庸夫：電子機器設計，日刊工業新聞社（昭 45）
- 2) 牛山ほか：テレビカメラ回路の LSI 化，テレビ学会技術報告，TBS 49-4（1978.9）
- 3) 藤森ほか：第 2 世代のカラーテレビ用 MSI（信号系），テレビ学会技術報告，TBS 49-1（1978.9）
- 4) 塩谷ほか：第 2 世代のカラーテレビ用 IC（偏向，音声），テレビ学会技術報告，TBS 49-2（1978.9）
- 5) 大津 浩，音響機器と厚膜ハイブリッド IC，電子材料，2（1979）73-78
- 6) 大橋ほか：最近の映像音響機器用半導体デバイス，電子材料，2（1979）22-26
- 7) 柴田ほか：カラー VTR 用リニア IC，電子材料，2（1979）52-56
- 8) Anthony Lind, et al: CCDs in Broadcast Color TV Cameras, Broadcast Engineering, 12（1978）47
- 9) 日本電子機械工業会：電子産業の発展と将来展望，日本電子機械工業会（1978.10）
- 10) 電子通信学会東京支部：半導体集積回路技術，電子通信学会（1970.3）