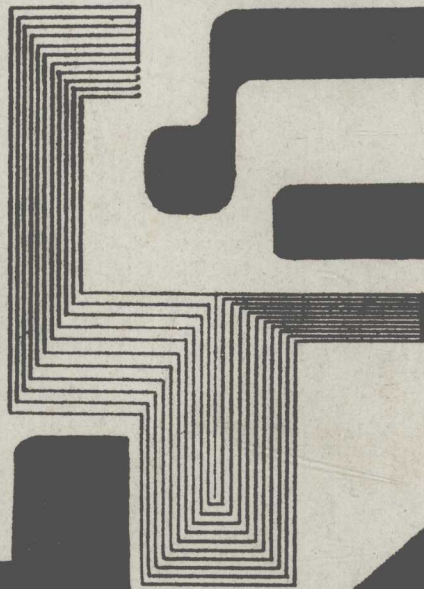


ソリッドステート回路シリーズ 6

編集
川上正光
大内淳義
伝田精一
吉田重蔵

半導体 IC の応用



ソリッドステート回路シリーズ 6

編集

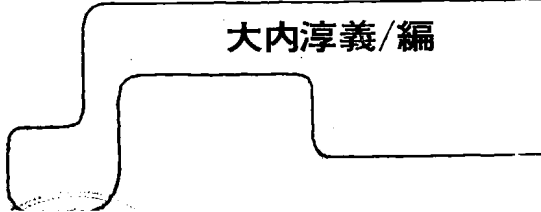
川上正光

大内淳義

伝田精一

吉田重蔵

半導体 IC の応用



大内淳義/編

共立出版株式会社

刊行にあたって

エレクトロニクスが、人類の果てしなき夢をつぎつぎと現実のものとし、文明社会に貢献してきたことは周知の事実である。すなわち、第二次世界大戦後の約三十年間に、真空管から、トランジスタ・集積回路などの開発・実用化により、テレビジョン・コンピュータ・宇宙通信・宇宙旅行などの小電力用分野から、電車のモータを高圧電源に接続、切離し、回生ブレーキをかけるというような大電力用分野まで、数限りない応用への具体化が行なわれてきた。特にわが国は、この方面において世界的に卓越した技術を誇っている。

このトランジスタや集積回路などを主体とする“エレクトロニクス”を応用することは単に電子工業にとどまるばかりでなく、物理学、化学、生物学、医学などの基礎科学の分野にも、さらに広く機械工業、化学工業、繊維工業などのすべての工業分野において欠くべからざる重要な技術となっていることは、現在、社会の常識であるといっても過言ではあるまい。

このような科学技術新時代への要望にそい、エレクトロニクスの中樞をなす電子回路、すなわち、トランジスタ・ダイオード・集積回路・サイリスタ・電界効果トランジスタなどを用いる回路を総称したソリッドステート回路について、編集委員が相よって十分検討を重ね、このたび「ソリッドステート回路シリーズ」を刊行することになった。

さて、このシリーズを企画・編集するにあたって、特に留意した点をあげると次のとおりである。

第一に、変遷の激しい半導体素子の完成された姿（基盤）を紹介し、またその応用回路について、実務的に要領よくまとめる点に主眼をおいた。

第二に、読者対象を電子工業技術者をはじめ、広く、ソリッドステート化した回路を実際に使用される多方面の技術者・学生と考え、实际的にすぐ役立つ

よう具体的な回路をおりこむように努め、整理をした。

第三に、前記に準ずるが、現場で役立つように能動・受動回路部品、実装技術、また規格と試験法などについても IEC 規格にのっとりまとめあげた。

このシリーズは、上記の要旨に従って次のとおりに 10 巻からなっている。

巻 1 ダイオードとその回路

巻 2 トランジスタとその回路 I ——基礎とアナログ回路——

巻 3 トランジスタとその回路 II ——パルス回路とデジタル回路など——

巻 4 電界効果トランジスタとその回路

巻 5 半導体 IC とその使い方

巻 6 半導体 IC の応用

巻 7 混成 IC とその使い方

巻 8 整流器およびサイリスタとその使い方

巻 9 整流器およびサイリスタ回路

巻 10 光・熱・歪半導体素子とその使い方

幸いにして、現場の第一線で活躍されている方々を各巻の執筆者として迎え、入門から実際的応用まで、広汎な内容をコンパクトにまとめることができたことは、われわれの喜びとするところである。

このシリーズがソリッドステート回路を利用する多方面の技術者・研究者・学生に利用され、わが国の科学技術および工業がますます発展することを願うものである。

昭和 49 年 3 月

編集委員

まえがき

現在、種々のエレクトロニクス機器に IC が使用される割合、いわゆる IC 化率は、機器の種類によって程度の差こそあるが、急速に増大しつつある。IC 化の対象になっていないエレクトロニクス機器を見つけだすことはむしろ困難な現状である。それだけでなく、IC は従来エレクトロニクスと無縁であったか、あるいは縁の薄かった機器の中にも次々と進出し、それらの機器をエレクトロニクス機器に変貌させつつある。時計、カメラ、自動車用装置の一部などはその典型的なものである。

本書は IC のうち、半導体 IC についてその応用を述べたものであるが、上記のようなすべての応用を限られた紙数内で紹介することはもちろん不可能である。したがって、現在、IC 化が最も進んでいるエレクトロニクスの数分野を選んで解説を行なった。

1 章に述べた工業機器の分野は、比較的地味な応用分野である。現在、この分野に使用されている IC の数量は本書に取り上げた他の分野ほど多くない。それは、一口に工業機器といってもその種類は非常に多く、IC 化の方法を一機種ごとにくふうしなければならないことなどに起因する。しかし、それだけに今後の IC の潜在マーケットとしては、最も楽しみの多い分野の一つである。

2 章に述べた電子計算機の分野はディジタル IC、特に高速バイポーラ・ロジック IC とメモリ用 IC の最も大きな需要分野である。IC の性能が進歩し、また IC 化率が増大するに伴い、電子計算機の performance/cost は近い将来、著しく向上することが期待されている。IC メモリが、在来のコアメモリなどの領域にどこまで、またどのようなテンポで置き代わっていくかなども興味のある問題である。

3 章に述べた電子式卓上計算機、いわゆる電卓の普及のスピードはめざまし

いものがあるが、現在、その心臓部をなすものは MOS LSI である。電卓がこのように短年月で発展したのは MOS LSI のおかげであり、また MOS LSI の技術的進歩、生産量の増加が他の半導体 IC より一歩先んじているのは電卓のおかげであるといつて過言ではない。

4章の民生用音響機器、5章のテレビの両分野は、いわゆる民生用リニア IC にとっての最も大きい需要分野である。この分野の IC も多種多様のものがある。しかし、先に述べた工業用機器などと比較して、一般に機器の生産台数をはるかに多いので、量産効果による IC のコストダウンが顕著に現われている分野である。

6章に述べた通信機器の分野は、どちらかというところからという分野である。全般的に見て、まだ IC 化率はあまり高くないが、将来 IC 化電話器の実用化やデジタル通信方式の普及につれて、大きな需要が喚起されてくるであろう。

本書各章の執筆者は、それぞれその分野で IC あるいは IC 化設計を実際に担当している専門技術者であり、記述内容は読者の満足を得られるものと信じている。

なお、本書を十分に理解するために、本書を読まれる前に本シリーズ 巻5 半導体 IC とその使い方 に目を通されることをおすすめしたい。

最後に、川上正光東京工業大学長をはじめとする本シリーズ編集委員の諸氏のご助言、ならびに共立出版株式会社編集部の佐藤邦久課長、村山松二氏のご協力に深く感謝の意を表する次第である。

昭和49年6月

大内 淳 義

編 集 者

大 内 淳 義 日本電気(株)取締役支配人・工学博士

執 筆 者 (執筆順)

中 沢 修 治	日本電気(株)集積回路事業部第二回路技術部
村 上 剛	日本電気(株)集積回路事業部第一回路技術部
堺 満 雄	日本電気(株)集積回路事業部マイクロコンピュータ部
柿 肇	日本電気(株)半導体・集積回路販売事業部技術部
次 田 雅 宣	日本電気(株)半導体事業部技術部
佐 々 木 元	日本電気(株)集積回路事業部第一回路技術部

目 次

1. 工業機器への応用

1.1 デジタル IC の応用 (TTL を中心に).....	2
1.1.1 デジタル IC の種類と特長	2
1.1.2 カウンタ	7
1.1.3 デジタル時計	13
1.1.4 デジタル電圧計	17
1.1.5 デジタルマルチプレクサ	20
1.2 アナログ IC の応用 (演算増幅器を中心に).....	27
1.2.1 演算原理と製品例	27
1.2.2 線形回路への応用	33
1.2.3 非線形回路への応用	47

2. 電子計算機への応用

2.1 はじめに	57
2.2 電子計算機システムの構成	57
2.3 中央処理装置の構成	59
2.4 ランダムロジック	62
2.5 機能ブロック	64
2.5.1 マルチプレクサ	65
2.5.2 °論理演算ユニット (ALU)	66
2.6 メモリ	71
2.6.1 スクラッチパッドメモリ	71
2.6.2 アソシエイティブメモリ	71
2.6.3 バッファメモリ	72

3. 電子式卓上計算機への応用

3.1 標準 MOS IC の種類と機能	75
3.1.1 ゲート回路	75
3.1.2 フリップフロップ回路	77
3.2 電子式卓上計算機の構成	78
3.3 応用例	79
3.3.1 タイミング信号発生回路	80
3.3.2 入力制御部	83
3.3.3 加減算回路	84
3.3.4 シフトレジスタの制御	87
3.3.5 表示制御	88
3.4 LSI	91

4. 民生用音響機器への応用

4.1 低周波電力増幅回路	95
4.1.1 パワー IC の分類	96
4.1.2 パワー IC の実際例	98
4.2 FM・MPX ステレオ復調回路	103
4.2.1 ステレオ復調回路の基本動作	104
4.2.2 FM・MPX ステレオ復調 IC	107
4.3 高周波・中間周波増幅回路	112
4.3.1 AM/FM-IF 増幅用 IC	113
4.3.2 FM-IF 増幅用 IC	116
4.3.3 AM チューナ用 IC	120

5. テレビへの応用

5.1 テレビへの応用序論	124
5.1.1 はじめに	124

5.1.2	テレビ用 IC の設計はどのようにしてなされるか	125
5.2	テレビ用 IC の選び方	126
5.2.1	テレビ回路のブロック区分に関する考慮	126
5.3	電源回路に対する考察	130
5.3.1	IC の電源	130
5.3.2	IC の内蔵電源安定回路の考察	131
5.3.3	リップル対策	133
5.4	実際のテレビ回路への応用	134
5.4.1	音声中間周波回路	134
5.4.2	AFT 回路	137
5.4.3	カラー復調回路	139
5.4.4	その他の回路	142

6. 通信機器への応用

6.1	通信用集積回路の特色	143
6.2	電話機への応用	144
6.2.1	電話機回路の IC 化	144
6.2.2	テレビ電話機の IC 化	146
6.3	交換機への応用	147
6.4	搬送装置への応用	148
6.4.1	回路網への応用 (能動変波器)	149
6.4.2	広帯域増幅回路への応用	151
6.4.3	超高速 PCM デジタル回路への応用	152
6.4.4	通話路変換装置への応用	153
6.4.5	PCM 中継器への応用	154
6.5	無線通信機器への応用	156

参考文献 索引

1. 工業機器への応用

工業機器への応用を解説するにあたり、主要な機器をあげてみよう。

A. 計測・制御機器

計測機器は、各種の物理量（例．電圧，温度等），化学量（例．亜硫酸ガス）を計測するものであって，前者には電圧計，温度計，後者にはガス分析計等がある。

制御機器は，具体例として数値制御装置，プロセス制御装置，電動力応用制御装置等があつて，電子計算機の導入とあいまってシステムの多い。

B. 医 用 機 器

たとえば，医用計測である心電計，脳波形等がある．上記の主要機器を回路上から大分類すると，

（イ） 物理・化学量を電氣量に変換するセンサ（sensor）回路

（ロ） 増幅・発振および論理判断・情報蓄積を実現するアナログおよびデジタル回路

（ハ） 操作端を駆動する電力用回路

となる。

上記の（ロ）項は半導体 IC で，（イ），（ハ）項は混成 IC で実現されている例が多い。

ここでは，工業機器への半導体 IC の応用について，デジタル回路は

TTL, アナログ回路は演算増幅器を中心に解説することにする。

1.1 デジタル IC の応用 (TTL を中心に)

1.1.1 デジタル IC の種類と特長

デジタル IC は、以下に示すような多くの回路形式があり、それぞれ固有の特徴を備えている。

DCTL (direct coupled transistor logic)

RTL (resistor transistor logic)

DTL (diode transistor logic)

TTL (transistor transistor logic)

CTL (complementary transistor logic)

CML* (current mode logic)

MOS Logic (metal oxide semiconductor logic)

以上のほかにも、これらの回路の一種の変形とみなされるものがある。たとえば、雑音余裕度の高い HNIL (high noise immunity logic), VTL (variable threshold logic) や、低消費電力の LPL (low power logic), しきい値電圧のない高速低消費電力の NTL (non-threshold logic), 飽和制御高速論理の CSL (controlled saturation logic) や SBD TTL (schottky barrier diode TTL) などで、これらは上記回路のいずれかの変形と見なせる。

デジタル IC を実際に使用する場合、その用途により要求される性能が変わってくる。たとえば大形電子計算機などに用いられる場合は、特に高速動作が要求されるが、電子式卓上計算機では速度よりも低消費電力、低コストのものが、制御機器では雑音余裕度の大きいものが要求される。

このようにデジタル IC を使用する際、その用途に適した回路形式を選ぶことはシステム設計における重要なポイントである。

デジタル IC の特徴を決める一般的な特性としては、下記のようなものがあげられる。

* ECL (emitter coupled logic) ともいう。

- (i) 動作速度
- (ii) 雑音余裕度
- (iii) ファンイン (fan in), ファンアウト (fan out)
- (iv) 消費電力

A. 動作速度

デジタル IC の動作速度は、一般的には伝搬遅延時間 (propagation delay time) で表わされる。すなわち入力レベル変化から出力レベル変化までに要する時間で、 t_{pd} の略号で表わされる。 t_{pd} の測定法については巻5の第6章で述べたが、その絶対値は IC において百万分の一秒 (μsec) のオーダーから十億分の一秒 (nsec) のオーダーまで、回路により非常に異なっている。

これはそれぞれ動作速度だけでなく、他の特性を含めてのおのおの特徴のある性質を備えているためである。表 1.1 は各回路形式の t_{pd} を示したものである。次に、回路の応答速度に密接な関連をもつ動作周波数を各回路形式について表 1.2 に示す。IC を使用する装置では、その装置の基準速度を決める上で

表 1.1 伝搬遅延時間 t_{pd} の概略値

回路形式	t_{pd}
RTL, DCTL	10~60 nsec
DTL	10~50 nsec
TTL	5~30 nsec
CTL	1~7 nsec
CML	1~5 nsec
MOS	0.1~1 μsec

表 1.2 使用可能クロック周波数

回路形式	使用可能周波数
DCTL	4 MHz
RTL	2 MHz
DTL	10 MHz
TTL	20 MHz
CTL	20 MHz
CML	40 MHz
MOS	0.5 MHz
CMOS	5 MHz

クロック方式をとっている。クロック周波数は装置に対する市場の要求と現実可能な IC から決まってくるもので、いたずらに高速の IC を選ぶ必要はない。

B. 雑音余裕度

デジタル回路においては、アナログ回路におけるように抵抗雑音やトランジスタ雑音などが問題になることはない。しかし装置の内部で発生するパルス

雑音（たとえば、リレーのスイッチやモータからの誘導電圧やメモリコアのパルス電流など）が論理レベルを変化させることがある。そこでこのような雑音に対して論理回路がどの程度余裕（margin）および免疫性（immunity）をもっているかを示す目安として、雑音余裕度（noise margin）* が定義される。

表 1-3 雑音余裕度（直流）

回路形式	雑音余裕度
RTL	0.7 V
DTL	1.0 V
VTL	2.0 V
HNIL	4.0 V
TTL	1.0 V
CTL	0.5 V
CML	0.4 V
MOS	2.0 V

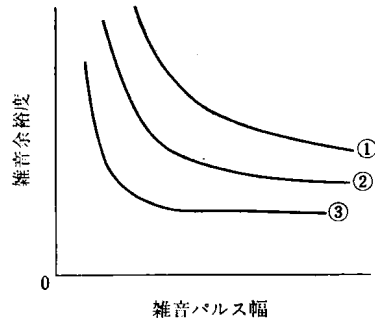


図 1-1 交流雑音余裕度

いままで考えてきた雑音余裕度は直流雑音であるが、実際には交流雑音の方が回路に入ってくる機会が多い。この場合の雑音余裕度は、回路のしきい値電圧以外にパルス特性にも大きく依存する。図 1-1 にパルス幅と交流雑音余裕度の関係を示す。一般に高周波特性がすぐれているほど、パルス感度がよくなるので雑音余裕度は小さくなる。

交流雑音を考慮する場合に重要なことは、外部の環境条件（布線、インピーダンス、クロストーク（cross talk）、終端など）によって大きく影響を受けるので、直流雑音のように雑音余裕度の絶対値だけでは評価できないことである。特に論理回路の中では、布線相互間の隣り合う信号線からのクロストーク（漏話雑音）がもっとも問題となる。

図 1-2 は、クロストークが問題となるブロック図とその等価回路を示したものである。この図から次式が成立する**。

* 雑音余裕度の定義については本シリーズの巻5 第6章で述べているので、ここでは表 1-3 に代表的回路の雑音余裕度を示す。

** V_{n0} : 駆動ゲート側の雑音電圧, V_{nt} : 負荷ゲート側の雑音電圧。

$$V_{n0} = C \frac{dV}{dt} \cdot \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} + M \frac{di}{dt} \cdot \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (1.1)$$

$$V_{ni} = C \frac{dV}{dt} \cdot \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} - M \frac{di}{dt} \cdot \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (1.2)$$

上式より、容量性クロストークは入出力の並列インピーダンスと単位時間あたりの論理振幅の変化率に比例することがわかる。したがって、回路のインピ

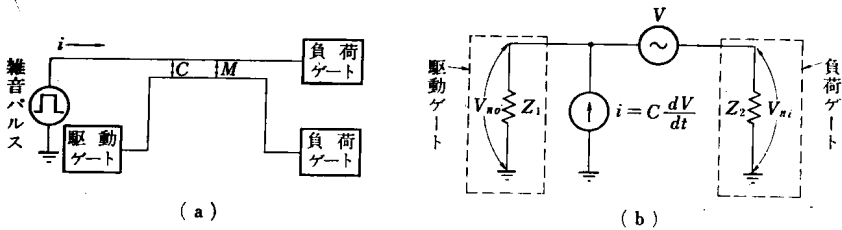


図 1.2 クロストーク

(a) クロストーク・ブロック図 (b) 等価回路

ーダンスをできるだけ低くすること、同じ立上り、立下り時間ならば論理振幅の小さい回路を選ぶことが、クロストークによる雑音電圧を防ぐ意味で重要である。誘導性クロストークは電流変化が小さいので無視できる。

DTL, TTL の出力段にオフバッファ回路をつけて低インピーダンスにすることは、このような意味でも有効であり、オフバッファつき DTL, TTL はその論理振幅に比べて交流雑音に強い回路である。

C. ファンイン、ファンアウト

デジタル IC で、ある装置を組む場合、論理回路は前後に組み合わせて用いられるので、同時にいくつかの入力に対して論理動作を行ったり、一つの回路の出力から多くの論理回路を駆動することが要求される。

一方、各論理回路は入・出力とも、“0” レベル、“1” レベルで流し得る電流値に限度がある。

そこで使用上、これを制限する必要がある、このためにファンイン、ファンアウトが規定される。

ファンイン（入力分岐数）とは、一つの論理にいくつの入力まで許されるか

を規定するものである。

ファンアウト（出力分岐数）は、一つの論理出力で何個の回路、またはそれ相当の負荷を駆動することができるかを規定するものである。

したがってファンアウトは、論理回路の出力として出しうる駆動電流と次段に接続される論理回路の入力電流の比となる。これは、出力が高レベルでは出力から負荷へ引き出す電流 I_{load} と高レベル入力電流 I_{IH} の比であり、低レベルでは負荷から出力が吸い込む電流 I_{sink} と低レベル入力電流 I_{IL} との比である。ファンアウトは両レベルにおいて保証されなければならないので、最悪条件として両者の小さい方の値で規定される。

たとえば $I_{load} = -800 \mu A$, $I_{sink} = 16 \text{ mA}$, $I_{IH} = 40 \mu A$, $I_{IL} = -1.6 \text{ mA}$ では（対象論理回路に流れ込む方向を+とする）、高レベルファンアウト $M_H = |I_{load}/I_{IH}| = 800 \mu A / 40 \mu A = 20$, 低レベルファンアウト $M_L = |I_{sink}/I_{IL}| = 16 \text{ mA} / 1.6 \text{ mA} = 10$ であり、低い方の値をとり、ファンアウト 10 と規定される。以上は直流条件に関する検討であるが、この条件を満足してもファンイン、ファンアウトが増すことによって浮遊容量による遅れが加わり、動作時間が保証されないことがある。そこで実際のファンイン、ファンアウトは直流条件で出される値より、ある程度余裕をもって規定される。

D. 消費電力

デジタル IC においては、装置の小形化が一つの利点となっているが、小さい装置に多数実装するときは消費電力から実装密度が制限されることがある。

したがってデジタル IC においては集積度が上がって、MSI, LSI と発展するにつれて消費電力の小さいことが重要になってくる。しかし消費電力は独立した条件ではなく、動作速度、ファンアウトと密接な関係をもっている。消費電力を節約するためには駆動電流を小さくしなければならないので、必然的に立上り時間が増加し、ファンアウトは減少する。したがって低電力化の性能指数 FM (figure of merit) として次式が用いられる。

$$FM = \frac{\text{ファンアウト}}{(\text{立上り時間}) \times (\text{消費電力})} \quad (1.3)$$

図1.3は各種回路形式について、回路の動作速度と消費電力の関係を示したものである。この図から消費電力と動作速度の積はほぼ一定であるが、最近開発されている論理回路は、この一定値が一段と低くなってきている。

以下、TTL*を中心に工業機器への具体的な応用例について解説する。

1.1.2 カウンタ

最近、工業計測の分野では多くのカウンタ(counter)が市販されているが、カウンタの機能にも周波数

測定、周期測定、加算計数、周波数比測定、分周など種々ある。ここではもっとも簡単な周波数測定の機能のみをもった、いわゆる周波数カウンタのIC化について述べることにする**。

A. 周波数カウンタの構成

周波数計数には、大別して二つの方法がある。一つは入力信号の周期を測定してその逆数を表示する方式、他の一つは一定時間中の入力信号波形の数を計数して表示する方式である。前者は比較的遅い周波数測定に適し、後者はいわゆる周波数の定義“1秒間に变化する交流のくり返しを周波数という”に近い測定であるといえる。ここに述べる方式は後者を対象にしたもので、大きくわけて次のブロックに分類することができる。

- ① 入力増幅および波形整形部
- ② 信号ゲート
- ③ 計数部

* 本章では、便宜上 NEC 製 TTL を中心に説明しているが、互換性のある他社製品名を 26 頁の表 1.7 に示してある。

** その他は文献 3) を参照されたい。

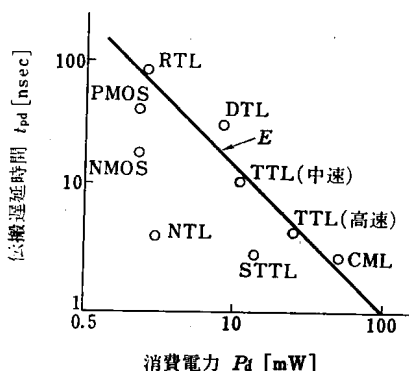


図 1.3 動作速度と消費電力の関係

$$E = t_{pd} \cdot P_d = \text{nsec} \cdot \text{nW} = 10^{-8} \text{sec} \cdot 10^{-8} \text{W} = 10^{-16} \text{Joule} = \text{p Joule}$$

PMOS: Pチャネル MOS NMOS: Nチャネル MOS STTL: ショットキーバリア TTL