CAD設計によるアナログ回路設計

左 巻 晃*

Analog Circuit Design Using CAD System.

Akira SAMAKI*

*旭光学工業株式会社システム機器事業部（〒174 東京都板橋区前野町2-36-9）

* System Products Division, Asahi Optical Co., Ltd. (2-36-9, Maeno-cho, Itabashi-ku, Tokyo 174)

1. はじめに

最近のプリント配線板においては、デジタル/アナログを問わず高密度化が進んでいる。電子機器の小型・軽量化、ならびに高速、多機能搭載等のニーズに応えるため、プリント配線板の製造技術や部品の実装技術が急速に発展している。これに伴って、プリント配線板の設計技術においても新しい技術が必要となっている。

ここでは、プリント配線板設計システム（SCICARDS®）を例にとって、アナログ回路の設計について述べる。SCICARDS®システム（図1）は、1975年にPCBの設計用として開発されたもので、以後年2回程度のバージョン・アップを行い、各種の設計テクノロジーを追加してきた。デジタル配線板の設計では、ピン間3～4本、多層板、ミニバイヤ（小径スルーホール）、ブラインドバイヤ、ECL（エミッタ・カップルド・ロジック）テクノロジーなどに関して対応するようになっている。アナログ配線板の設計についても、デジタル的パターンの処理をベースに種々のアナログ的機能を追加している。また、これらの他にハイブリッドに関しても、ブラインドバイヤに代表されるような機能をもち対応している。

ここで述べるアナログ配線板に関しては、とくに民生用配線板において、部品の小型化、信号レベルの低下、アナログLSI、SMT（Surface Mounted Technology）の採用により、デジタル的な設計が用いられるようになってきた。したがって将来的な展

望を含め、以下にSCICARDS®システムを使ったアナログ回路の設計について述べる。

2. システム構成

プリント配線板の設計用CADにおいては、他のグラフィックスを使用したCADシステムと同様に、すぐれたグラフィックス技術が要求される。これは、CADシステムにとって、操作性、応答性が重要な要素であるからである。また、操作性、応答性の問題から、CADシステムに用いられるコンピュータの形態も変化している。初期の時代は、スーパーミニコンピュータを使ったものがほとんどであったが、ここ数年、32ビットのプロセッサを使ったエンジニアリング・ワークステーションが急激に増えている。当社においても、68020を使ったPENTAX® Computerを使用している。スーパーミニコンピュ

図1. SCICARDS®システム（PENTAX Computer）

図2. システム構成図 (PENTAX Computer DS-6402)

ータとしてはVAXである。

操作性、応答性とは別に、プリント配線板の設計CAD（とくにアナログ回路設計）において重要なことは、豊富なアプリケーション（機能）を持っていることである。したがって、豊富なアプリケーションを格納する磁気ディスク装置が必要となる。

以下にPENTAX[®] Computer を例にとり、システム構成図を示す（図2）。

システムを構成する要素とその機能については、以下のとおりである。

(1) CPU

現在市販されているほとんどが32ビットのCPUを採用している。また最近ではマルチCPUを使い、同時に複数の業務を実行させたり、並列処理による高速処理を実現させている。

このシステムでは、MC 68000とMC 68020の二つのCPUを使用している。MC 68000を使ったシステムCPUではI/Oの管理/制御を行い、MC 68020を使ったアプリケーションCPU上ではCADシステムを動作させている。

(2) メモリ

256 Kや1 MビットのDRAMの登場により、大量のメモリをシステムに搭載することが価格的にも可能となった。高密度化が進んだ配線板を設計す

るCADとして、大量のメモリを使用できることは、処理速度の向上に有効である。

通常このシステムでは、システム用メモリとして2 Mb（メガバイト）、アプリケーション用として4 Mbを使用している。

(3) グラフィックス

CADシステムのマンマシン・インターフェイス部をつかさどるものであり、グラフィックスのよしあしでそのCADシステムのよしあしが決まると言ってもよいと考える。このシステムで使用しているグラフィックスが持つ機能を記載する。

リゾリューションレス・ズーミング機能
ダイナミック・パニング機能
ラバー・バンド機能
ぬりつぶし、消去機能

これらの機能は、グラフィックス・コントローラが行い、高速な操作性を実現している。

(4) 磁気ディスク

種々のアプリケーション・ソフトウェアを格納しておくことと、高密度化した配線板の設計データを格納しておくのには相当量の容量をもつ磁気ディスクが必要である。

このシステムでは、170 Mbまたは340 Mbのものを2台搭載できるようになっている。

(5) 磁気テープ

CAMデータの出力や、設計データのセーブ用に磁気テープが使われている。

(6) プロット

CADシステムでは、ドキュメント用などに図面の出力が必要である。従来はペンプロットが使われていたが、出力時間が問題となっていた。CADシステムがダイナミック・デザイン・ルール・チェックを行っていて、接続上のミスを起こさないため、色分けした出図が不要となっている。そこで、出力データをラスター化して短時間で出力できるレーザ・プロットを使用している。

このシステムでも、当社製のレーザ・プロット（LP 6000）を使用している。

(7) LAN (Local Area Network)

多数のワークステーションを使用して、大規模なCADシステムを構築するためなどに、ネットワーク機能が必要である。

このシステムでは、TCP/IPプロトコルに準拠したネットワーク（Unisoft社のB-NET）を採用している。

(8) その他

CAMデータ出力用の紙テープ、プリンタ、フロッピーディスク、A/Nターミナル、漢字ターミナルなどが接続される。

このシステムの特徴は、アプリケーションCPUとメモリおよびグラフィックスをインターナル・バスで接続し、独立して動かすことにより、応答性の向上を図っていることである。また、アプリケーションCPUには、フローティング・ポイント・プロセッサが使われており、高速演算を実現させている。

3. アナログ配線板の設計フロー

従来の設計においては、紙面にパターン設計を行い、デジタイザにてアートワーク・システムに取り込んでいた。論理回路図の作成からCAMデータの作成までの流れの中で見ると、部分的にCAD化された状態であった。しかし、現在では、アナログ配線板も高密度化が進み、従来の設計方法では困難となっているものが多くなっている。パターン設計に

おける接続のチェック、DRC（デザイン・ルール・チェック）などがCADシステムなしには行えなくなっている。そこで、接続のチェックには接続情報（ネットリスト）が必要となる。接続情報の入力においても文字列によるものであると、接続情報が多い場合、ミスが多くなり、正確な設計ができなくなってしまう。したがって、図3に示すような論理回路図入力からのトータル的な設計システムが必要となっている。

トータル的な設計システムとは、論理回路設計用のCAEシステム、レイアウト設計を行うCADシステム、CAM/CATのデータの作成とからなるものである。

4. CAEシステム

論理回路設計用システムとして、パーソナル・コンピュータを使ったものが増えている。論理回路図入力といえども、複雑なものになると長時間かかってしまう。ワークステーション上で論理回路入力を長時間行うことは効率的でない。そこで安価なパーソナル・コンピュータを使ったものが採用されている。当社でもパーソナル・コンピュータを使ったSCIDESIGN™システム（図4）を使用している。

図3. アナログ回路の設計フロー

CAE システムの使用効果としては、

- (1) 論理回路上の部品および接続情報入力が正確
- (2) 論理回路の変更が容易
- (3) 論理誤りチェックの容易さ
- (4) レイアウト設計への即応性
- (5) 論理シミュレーションへ容易にインターフェイスできること
- (6) 部品リスト等のドキュメントが容易などがあげられる。

5. レイアウト設計CADシステム

アナログ配線板の設計には、デジタル回路の設計よりも複雑な設計条件がある。アナログ回路はデジタル回路と異なり、回路基板の物理的精度がそのまま動作特性等に反映される。また回り込み現象等を回避させるようなアルゴリズムが発見されず、自動配置/配線等が困難となっている。したがって、CADで実行する自動配置や自動配線をそのまま実用化するのは困難で、アナログ設計者の設計ノウハウを付け加える必要がある。

アナログ配線板をCADを使って設計する場合、特定の信号線に対し指定の線幅で自動配線を行うなどの方法を使って、自動配線を行い、未配線に対し、CADの持つグラフィックスを使った会話型処理や、ダイナミックDRC機能を十分に使って設計しているのが現状である。

5.1 部品配置

前述したように、アナログ回路における部品配置

図4. SCIDESIGN™システム

は、基本的には設計者の設計ノウハウに依存するのが現状であるが、CADシステムとして自動配置機能をサポートしている。

5.1.1 自動配置

ICのレイアウト設計と同様に、プリント配線板においても種々の手法¹⁾が試みられている。ほとんどの場合デジタル回路に対するものが多く、アナログ回路に対応したものは少ない。ここで採用している手法は、配置改善手法が中心となっている。

(1) 初期配置

発表されている初期配置手法には、積み上げ式初期配置手法やクラスタリング法などがある。初期配置段階で採用しているのは、単純化した Force Direct 法である。しかし、アナログ回路の場合、多種のディスクリート部品を使用するので、Force Direct 法では理想的な解を求めるのが困難である。そこで、設計者によるクラスタリングを取り入れている。

設計者によって、基板上に数個のパーティション(区域)を設け、それぞれのパーティションに部品を割り当てる。自動配置は各パーティションに必要な個数のマトリックス(配置用の格子)を発生させ、マトリックス上に Force Direct 法を使って部品を配置する。したがってこの段階では、すべての部品を点として扱って計算している。

現在、改善に努めているのは、配置する順序を決める問題である。どのパーティションから行うか、どの部品から行うかである。また、クラスタリングの自動化も今後の課題である。

(2) 配置改善

パーティションごとに繰り返し配置改善法(ペア交換法)を使って最適化を行っている。

この段階では、部品を実際の大きさに扱っている。現状では、部品の大小にかかわらず演算するが、理想的な解が求めにくい。そこで繰り返しの回数を設計者が設定し、繰り返し演算を中断させ、設計者によって大きい素子などを固定する。その後に再び繰り返し演算を再開させ最適化を行っている。

評価関数に含まれているのは、水平および垂直になった接続のトータル長と斜めの接続のトータル長などである。

やはり、一般的に言われている問題を抱えておりそれらの問題の改善に努めている。

(3) 基板への分散

前段まではマトリックス上での扱いであり、この段階で部品の重なりを解除させる。すべてのパーティションを解除し、部品を分散させ、部品の重なりを取り除いている。

自動配置においては、数種の手法を取り入れ、かつ、設計者のノウハウを組み入れられるようにしているのが特徴である。

5.1.2 マニュアル配線

自動配置で得られるものは、参考的なものである。したがって自動配置後に豊富なグラフィックス機能を使ったマニュアルによる修正を行う必要がある。

SCICARDS[®] システムは、ラバーバンドを使った接続情報の表示などの機能と、強力なマンマシーン・インターフェイスを完備し、優れた操作性を実現している。

5.2 配線

アナログ基板に対する、自動配線を実用化するには種々の問題がある。とくに前記したように、物理的精度や回り込み現象などが問題となっている。しかし、アナログ配線板も集積化が進み、よりファイン化、多層化しているため、自動配線が必要となっている。

5.2.1 自動配線

プリント配線板に採用されている配線アルゴリズム²⁾には、迷路法、線分探索法、それに最近実用化されているRIP-UPを使ったダイナミック・ルータなどがある。

SCICARDS[®] システムは、これらのアルゴリズムを使い、各種のパラメータを設定できるようにして実用化を行っている。

(1) 線分探索法

片面板に対しては、あまり配線できるとは思えないが、多層板の場合は、迷路法よりも計算時間は短いため、単純な配線に対し利用している。水平/垂直の線分を発生させるエリアの設定ができるようにしており、発生させる配線パターンの折れ曲がり数とビアホール数の異なる自動配線を3種類用意している。

(2) 迷路法

特徴の一つはコストテーブルを使っていることである。このコストテーブルは、各配線層ごとやエリアを指定して設定でき、分解したセル(格子)に、水平/垂直の移動とビアホールの発生に対するコストが指定できるようになっている。迷路法による配線時にコストが最小になるように、かつコストの最大値を設定し、そのコストを越えないように自動配線を行っている。したがって、多層板の場合、このコストにより各層の配線に、水平/垂直性を保たせている。片面板に対しては、水平/垂直性をはずしたコストを設定し迷路法を行っている。

他の特徴としては、セルに乗らない部品に対して自動補正を行っていることである。この機能を使ってアナログ配線板やSMTに対応している。

また、探索範囲も設定できるようにしており、迷路法の実行時間の調整や配線長の大まかな調整ができるようになっている。

(3) ダイナミック・ルータ

RIP-UP手法と迷路法を使ったルータであり、ルータ・エンジン(ダイナミック・ルータ用に開発されたシステム)上で動くものである。

線分探索法や迷路法によって配線できなかったものに対し、傷害配線を取り除き、配線順序を変えながら結線を行っている。片面板・多層板ともに使用でき配線率も向上する。

自動配線においては、線幅、クリアランスの指定、配線対象(特定の信号線を対象にする等)、配線エリアなどが指定できる。アナログ配線板に対して自動配線を行う場合は、設計者のノウハウを取り入れながら行っており、インタラクティブDAとして使用している。

5.2.2 マニュアル配線

自動配線による配線では、アナログ回路において満足した動作特性を得ることはほとんどできない。どうしても設計者による修正が必要であり、回り込み現象の回避や静電遮蔽等の処理を行わなければならない。

したがって、ダイナミックDRCの下で各種機能(自由角度での配線、ダイナミックな線幅/クリアランスの変更、ベタアースの発生など)を駆使して

図5. 片面アナログ配線板 (by SCICARDS®)

図6. SMT配線板 (by SCICARDS®)

修正を行っている（図5はその一例）。

6. SMT

アナログ/デジタルを問わず、両面実装が増えており、配置/配線においてもSMT対応の各種機能が必要となっている。

SMTの配置機能としては、裏面配置に対しての鏡像処理である。裏面に配置する部品には、自動的に鏡像処理が行われる機能である。部品のライブラリに表面/裏面用の形状を持つのではなく、表面用の形状だけを持ち、配置の段階で鏡像処理を行う。また、SMTをどちらに配置すべきかは、難しい問題である。したがって、表面/裏面間の部品のスワップ機能も重要となる。また自動配置においても、表裏に対する処理が必要であり、たいへん難しい問題となっている。

SMTの配線機能としては、自動配線において、ダイナミックなグリッドの変更が行え、また、自動/マニュアルとも、パッド周辺の自動補正を行い、グリッドを使った配線を実現している（図6参照）。

7. CAM/CATデータの出力

CADによる設計が終了した後、製造用/テスト用のデータを出す。製造/実装の技術革新や、CAM/CATへの出力データが標準化されていない点から、

個別な対応となっている。

CADシステム自体が整備されたデータベースを持っていれば、CAM/CATへの対応は容易である。また、CAM/CATデータ出力の汎用化も行っており、フォトリソ、ドリラーについては実用化している。

8. まとめ

現時点では、アナログ回路（片面）をスムーズに設計する自動配置/自動配線には不足する部分が多いが、よりファイン化や多層化が要求されている現状では、CADシステムによる自動処理が不可欠になりつつある。

アナログ回路における急激な技術革新に対応するためにも、今後さらに、CAE/CAD/CAM/CATシステムの充実が必要であり、トータルのシステムの確立が焦眉の課題である。

(1987.7.15 - 受理)

文 献

- 1) 小田原豪太郎, 飯島一彦: “印刷配線板の部品配置手法”, サーキットテクノロジー, Vol. 2, No. 1 (1987)
- 2) 後藤 敏: “プリント配線板の自動配線設計手法”, サーキットテクノロジー, Vol. 2, No. 2 (1987)