

定性推論に基づいた設計支援システムの 電子回路への適用

大平 栄二 大木 優 新庄 広 阿部 正博
(株)日立製作所中央研究所

1 はじめに

電子回路などの設計において、全く新規に設計が必要な場合もあるが、既に設計済みの回路を再利用することにより、要求仕様を満たす設計が可能な場合も多い。すなわち、構造が既知である回路に対して、その一部素子の値を変更することによる再設計である。本報告では、このような設計の支援に定性推論 [1] を適用した結果について述べる。

2 設計支援システムの概要

電子回路の設計において、素子の値を決定する場合、エキスパートである設計者は、回路シミュレータを用いて、その素子値を振りながら適切な値を求め設計を行う。このシミュレーションでは、各素子に具体的な値を設定する必要があるが、エキスパート以外の人にはどの程度の値を設定して良いのか見当すらつかない場合が多い。また、仮に、適切な値が決まったとして、もしその値を外れたとき、回路はどのような挙動（誤動作）を示すかが分かれば、エキスパートにとってもより安全で最適な設計が可能となると考えられる。

今回用いた設計支援システム [2] は、図 1 に示すように、定性推論に非線形連立不等式を解く制約ソルバーを組み込んだシステムで、定量的な解析も可能な構成となっている。定性推論は、エンビジョニングと呼ばれる、可能な挙動を全て洗い出す機能を持ち、制約ソルバーは不等式に基づく問題解決、すなわち値を範囲で評価可能な機能を有する。このため、両者を組み合わせた本システムにより、上記の設計の支援が可能になると期待できる。

さて、本設計支援システムでは、設計対象の構造を構造情報に与えることにより、システムは、知識ベースに格納される知識を用いて推論を行う。知識ベースには、フレーム型で知識表現された物（オブジェクト）に関する知識と、物と物の間に生じる物理法則に関する知識が格納される。以下に電子回路に対する具体的な検討結果について述べる。

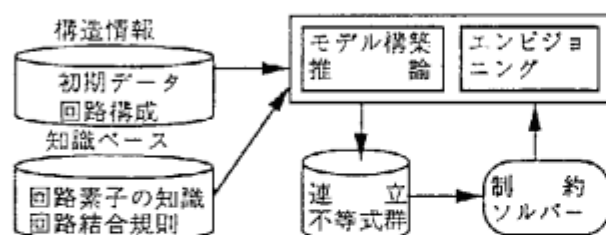


図1 設計支援システムの構成の概要

3 電子回路設計への適用

3.1 DTLインバータの設計への応用

図2のDTLインバータにおけるベース抵抗RBの設計に応用した例について説明する。この抵抗RBは、原理的には不要な抵抗であるが、トランジスタのカットオフ時において、リーク電流により出力電圧が低下する障害や、過剰電荷によるスイッチング速度の低下を防ぐために現実の回路では不可欠な抵抗である。この役割から考えると抵抗値は小さいほど良いが、0にすると、トランジスタは常にオフしてしまう。

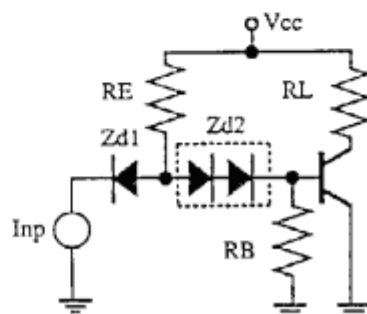


図2 DTLインバータ回路

さて、知識ベースには、トランジスタやダイオード、抵抗などがオブジェクトとして格納される。そして、物理法則としては、接点のキルヒホッフの法則が格納される。図3に、ダイオードのオブジェクトの記述例を示す。図では、ダイオードは2端子素子の概念オブジェクト（Thing）を継承し、変数として電圧、電流および抵抗を持つことを定義している。デジタル回路において、設計者が回路を理解する場合、ダイオードは、一般にはon/offするものとして考える。これを表現するため、本システムの知識表現は、図3のようにオブジェクトの状態をIF-THEN形式で記述する。すなわち、図3で、ダイオードの両端の電圧が0.7V以上のとき状態onとなり、0.7V未満のときは状態offとなる。そして、ダイオードは状態onのとき定電圧源、状態offのとき高抵抗となることが定義されている。

図2のDTLの構造情報（図4）を与えることにより、本システムは、図3のように定義された素子を用いて推論を行う。システムはまず、構造情報で指定されたオブジェクトを知識ベースから取り出し、登録する。そして、登録されたオブジェクトの数式は制約ソルバーに送られ計算される。ここで、抵抗や電源などは、1状態であるため、無条件に登録できるが、トランジスタやダイオードは、複数の状態を持ち（ダイオードの場合on/offの2状態）、各状態により成り立つ数式が異なるため、状態が決まるまで登録できない。すなわち、図3の各状態の成り立つ条件が決定される必要がある。このため、このようなオブジェクトは後回しにし、その状態が決定されたときに登録を行う。

```

object zd:Zd
supers
thing;
attributes
vr-constant;
ir-constant;
registance-constant;
state on
conditions
vr@Zd >= 0.7;
relations
vr@Zd=vr@tanshi1!Zd-vr@tanshi2!Zd;
vr@Zd= 0.7;
ir@Zd >= 0.0;
state off
condition
vr@Zd < 0.7;
relations
registance@Zd=100000.0;
vr@Zd=vr@tanshi1!Zd-vr@tanshi2!Zd;
vr@Zd=registance@Zd*ir@Zd;
end.

```

図3 ダイオードの記述例

さて、評価可能なオブジェクトや物理法則の評価が全て完了した時点で、まだ状態の決まらないオブジェクトや物理法則が残っている場合には、本システムはエンビジョニング処理を開始する。この処理は具体的には、まず、残されたオブジェクトや物理法則の条件部のうち、正しいか否かが判定できない不等式を検出する。そして、各不等式が互いに矛盾しない組み合わせ（環境）を求め、それぞれの環境の基で推論を進めることにより実現する。

3.2 DTLインバータの設計結果

以上の推論により、入力電圧と抵抗RBをunknownとして実験した結果を表1に示す。ここで、トランジスタのベースに直列に接続している2個のダイオードは、単純化するため1個のダイオードで代表させている。表で、状態がON-ON-ONとは、入力電源側のダイオードZd1、2個のダイオードZd2およびトランジスタがそれぞれonである状態を示す。

さて、表1において、DTLは必ず入力電圧が0V付近では、トランジスタをoff、5V付近では、トランジスタをonさせる必要があるため、状態4と8の抵抗RBの範囲は、設定してはいけない値となる。また、入力電圧が高い場合はトランジスタを飽和(SAT)させて良いため、状態7の制約は必要ない。以上の結果、DTLを正しく動作させるためには、抵抗RBを大体480~100kΩの間の抵抗値に設定すればよいことが分かる。そして、抵抗RBを100kΩ以上にすると、状態4と6からトランジスタは常にonしてしまい、逆に、抵抗RBを480Ω以下にすると、状態5と8からトランジスタは常にoffしてしまいうことが分かる。

3.3 一段増幅器の設計への応用

本設計支援システムでは、図5の一段増幅器のような回路のAC設計も可能である。ただし、上記のDTLで行ったDC設計の場合と異なり、複素数も扱えるようにオブジェクトの変数の電圧や電流は実数部(vr,ir)と虚数部(vi,ii)を設ける必要がある。さて、図5の一段増幅器において、利得が2倍、遮断周波数が1kHzの制約のもとで、抵抗RL=1kΩ、RE=348Ωの正しい値を求めることができた。尚、遮断周波数が1kHzのときのコンデンサCのインピーダンスは1kΩである。ま

```

initial_state dd
objects
RL-register; RE-register; RB-register;
Zd1-zd; Zd2-zd2; Tr-tr;
Vcc-power; Inp-power;
initial_relations
connect(tanshi2!Vcc,tanshi2!Inp,e!Tr,tanshi2!RB);
connect(tanshi1!Vcc,tanshi1!RL,tanshi1!RE);
connect(tanshi1!Inp,tanshi2!Zd1);
connect(tanshi2!RE,tanshi1!Zd1,tanshi1!Zd2);
connect(tanshi2!Zd2,b!Tr,tanshi1!RB);
connect(tanshi2!RL,c!Tr);
registance@RL= 6000.0;
registance@RE= 2000.0;
registance@RB >= 0.0;
vr@Vcc= 5.0;
vr@Inp >= 0.0; vr@Inp < 10.0;
end.

```

図4 DTLインバータ回路の構造記述

表1 DTLインバータの実験結果

	状態	入力電圧の範囲 (V)	抵抗値の範囲 (Ω)
1	ON-ON-SAT	1.40081 ≤ < 1.5381	486.16 ≤ < ∞
2	ON-ON-ON	1.4 ≤ < 1.40081	482.75 ≤ < ∞
3	ON-ON-OFF	0.7 < < 1.4	0 < < 233,567
4	ON-OFF-ON	0 ≤ < 1.4007	100,000 < < ∞
5	ON-OFF-OFF	0 ≤ < 1.4	0 < < 233,567
6	OFF-ON-SAT	1.40081 ≤ < 10.0	460.9 ≤ < ∞
7	OFF-ON-ON	1.4 < ≤ 10.0	457.8 ≤ < 488.53
8	OFF-ON-OFF	0.7 < ≤ 10.0	0 < < 484.1
9	OFF-OFF-*	Conflict	

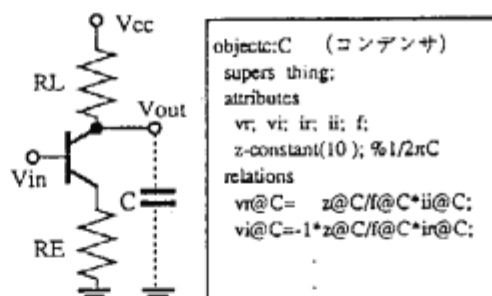


図5 一段増幅器とAC設計の記述例

た、現在制約は、制約ソルバーの制限から、次のように与える必要がある。

$$\begin{aligned}
 V_{out}(\text{実数部}) &= -1.0 \cdot V_{in} \cdot \text{利得} / \sqrt{2} \\
 V_{out}(\text{虚数部}) &= V_{in} \cdot \text{利得} / \sqrt{2} \\
 f(\text{周波数}) &= 1000
 \end{aligned}$$

4 おわりに

定性推論に基づいた設計支援システムを、構成が既知の回路の一部素子値の変更による再設計の問題に適用し、このような設計に利用可能である見通しを得た。尚、本研究は、新世代コンピュータ技術開発機構 (ICOT) からの委託により行ったものである。

参考文献

- [1] 大木、藤井、古川；物理法則に基づいた定性推論情報処理学会論文誌、vol.29 no.7、pp694-702(1988-7)
- [2] 大木他；定性推論に基づいた設計支援システムの構成、本全国大会講演集、4D-9