

POISKを用いたアナログ電子回路解析

LAKSBERG, Edgar

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学工学部研究集報 / 法政大学工学部研究集報

(巻 / Volume)

30

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

5

(発行年 / Year)

1994-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00003849>

POISK を用いたアナログ電子回路解析

Analog circuit simulation using POISK

Edgar LAKSBERG[†] 八木 浩行[‡]

Abstract

Main features of the analog circuit simulator POISK are described. Some techniques are presented, which attempt to minimize the CPU time of circuit simulation. Examples of circuit analysis aiming at a functional comparison with SPICE are included.

§1 はじめに

汎用回路シミュレータとしては SPICE が広く使われているが、この度我々は新たにシミュレータ POISK を導入した。POISK はアナログ電子回路解析と最適化プログラムのセットとして設計され、次の7つのプログラムを含んでいる。

●アナログ電子回路解析プログラム

- －枝方程式を段階的に線形化して求める DC 状態の解析 (プログラム STATIC)
- －フェーザ法による線形回路の周波数応答解析 (プログラム PCHALS)
- －DC 状態と周波数応答を組み合わせた解析 (プログラム STAPCH)
- －非線形回路の時間領域での過渡解析 (プログラム TIMEF)

●最適化プログラム

- －感度を用いた周波数領域での線形回路の最適化 (プログラム CHOLIS)
- －モンテカルロ法による線形回路の最適化 (プログラム POISK)
- －結合法による線形回路の最適化 (プログラム PEREBOR)

本報告では POISK の機能の中の、アナログ電子回路解析プログラムのアルゴリズム及び SPICE との比較結果を報告し、最適化プログラムについては、紙面の都合により省略する。

§2 アナログ電子回路解析プログラムのアルゴリズムの概要

アナログ電子回路解析プログラムのアルゴリズムをプログラム別に簡単に紹介する。

－STATIC：アルゴリズムは枝方程式を段階的に線形化する事に基づき、テイラー級数の線形項が使用されている。DC 感度計算と回路素子の特定のパラメータを変化させる能力は、ほぼ

[†]電気工学科電気電子専攻客員教授

[‡]電気工学科電気電子専攻

SPICE と同じである。

—PCHALS：線形化された回路の周波数応答解析は通常のフェーザ法に基づく解析結果に加えて、入力信号の最大振幅を指定すると、バイポーラトランジスタ回路の歪み（出力信号の一次高調波と、二次高調波の比 K_h ）を求めることができる。

$$K_h = |\dot{U}_{out}(2\omega)| / |\dot{U}_{out}(\omega)|$$

ここで ω は信号の角周波数、 \dot{U}_{out} は複素出力電圧である。もし逆に係数 K_h が代わりに明示されると、入力信号の最大振幅を計算することができる。摂動法が、ここで実行され、バイポーラトランジスタの接合コンダクタンスや接合キャパシタの電圧—電流特性は、テイラー級数の二項目により計算される。それらの項によって小信号モデル“歪み源”に電流源が挿入され、その値は、接合電圧の交流成分の二乗に比例する。電圧が正弦波曲線的であるので、次数を下げるために式 $2\sin^2\omega t = 1 - \cos 2\omega t$ が適用され、周波数は 2 倍となる。また、各々のトランジスタの端子に接続された“歪み源”による結果として、出力信号の二次高調波 $U_{out}(2\omega)$ が、一次の $U_{out}(\omega)$ から求めることができる。

この手法の特色は、非線形解析であるにもかかわらず、歪み解析を実行するのに非線形パラメータを導入する必要がないことにある。

もう一つの特徴は、回路の全ての二端子素子を考慮して、指定された周波数において感度を計算する能力にある。それを実行するために接点方程式の微分形に基づく技術が使われている。

—STAPCH：線形化されたダイオードトランジスタ回路での、DC 状態と、周波数応答の結合解析は、プログラム STAPCH によって、実施される。動的な（完全な）感度の決定は、すべての能動素子の DC 動作点の変化を考慮して、また線形小信号モデルでパラメータが同時に変化することによる影響を考慮して実行される。それらのパラメータは、ネットワークの DC 状態に依存し、それは DC 状態によって決定される抵抗値の変化の後に変化する。この影響は、基本的にトランジスタと抵抗のみを含む線形集積回路の設計において、とても重要になる。

—TIMEF：時間領域での解析に関しては、SPICE とかなり似ている。どちらのシミュレータも、二次の絶対積分方程式⁽¹⁾と自動積分ステップ選択を応用している。どの時間ステップにおいても、エネルギー貯蔵素子（キャパシタやインダクタ）は、等価モデルに置き換えられ実行される。時間ステップが連続して三回同じままであれば、行列の完全な LU 分解は必要でなく、単に逆置換のみが実行される。POISK には従来の過渡解析に加え、ニュートン法によって定常状態の能率を改善する能力がある。

接点手法に基づく、修正された April-Trick のアルゴリズムが応用されている。出力周期信号のフーリエ解析もまたこの場合実行される。

定常状態応答計算でとても高い精度が求められる、一つの例を考えてみる。増幅検波器の等価回路図を Fig. 1 に示す。

入力は、正弦波信号である。初めに計算はすべての周波数において同じ精度 1.0×10^{-5} で実行さ

れる。次に結果が出され、周波数が増加しているときの結果は出力信号の第0次の高調波（直流分） N_{out} を低下させる。 V_{out} の信号の形状は正しいにもかかわらず、これは現実には実行と同時に起こらない。続いて通常の過渡解析が同じ入力信号に実行され、 V_{out} の像は、 J_{in} の周波数での入力信号に関係する、小さな偏差の増加ノコギリ波信号曲線として現れる。この実験の結果をFig. 2に示す。尚、この実験の拡大表示を同図の右下の枠におさめている。ここで、 $f=10\text{Hz}$ 、 $\epsilon=1\times 10^{-6}$ である。

一周期の波形は、次の波形と極めてよく似ているので、周波数の増大とともに計算の精度も同様に増加させなければならない。(例えば、ここに結果は示していないが、我々の数値実験では $f=10\text{MHz}$ のとき $\epsilon=1\times 10^{-10}$ という高い精度が必要であった。)

§3 SPICEとの比較

POISKによる解析結果とSPICE（PSPICE版）による解析結果の比較をここで行う。

—受動素子の例 Fig. 3の、4段フィルタを解析する。Fig. 4は、POISKによる解析結果である。SPICEによる結果⁽²⁾と、同様な傾向がみられる。尚、ここではパルス波の入力による結果のみを示しているが、正弦波の入力による結果もSPICEの結果とほぼ一致している。

—能動素子の例 能動素子を含む回路の例として、Fig. 5のマルチバイブレータを解析する。SPICEによる解析結果をFig. 6に、POISKによる解析結果をFig. 7に示す。

双方のグラフを比較すると、立ち上がりを別にするとほぼ同様な傾向がみられる。立ち上がり速度の差は、両シミュレータのモデルの差、また初期状態の差によると考えられる。また、 $V(2)$ において、立ち上がり時にSPICEでは小さな歪が見られるが、どちらがより現実に近いのかは、確認していない。

§4 まとめ

POISKでは、現在の所、ロシア語と英語による画面表示と、この二ヶ国語のユーザズガイドしか用意されていない。どちらの場合も比較的小規模のマシンで実行できる。POISKのすべてのプログラムはFORTRAN77によって書かれている。ソースリストは約8000行からなる。

POISKはソースリストが活用でき、例えば半導体素子の新しいモデルを導入することが、ユーザのニーズに応じて行える。

POISKは、入力データ編集において、入力データ編集プログラムを使用するか、または直接エディタを使用して編集するのか二種類の方法が用意されており、ユーザーが選択できる。

POISKには、まだ述べていない、いくつかの不便な点がある。SPICEのように副回路は使用できない。また、半導体パラメータのライブラリはSPICEほど十分ではないし、POISKでのモデルはより単純である。今の所バイポーラトランジスタでは、Ebers-Mollモデルが使用されてい

るだけである。

現在, POISK の日本語マニュアルの準備が進行中である。また, 新たに MOS トランジスタが導入され LEVEL 1 モデルが使用可能になる。また, PSPICE での PROBE の様な, ポストプロセッサ (DRD) が特別に設計され使用できるようになる。POISK での解析結果は, 全て DRD によるものである。残念ながら, 開発段階のためプリントアウトに不十分な点があることを付け加えておく。

§ 5 謝 辞

法政大学教授 檀 良 博士の多くの助言と議論に感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) Laksberg E. *On the sensitivity analysis of linear active networks*. Electron. Letters, 1978, 14, N7, pp. 221–223.
- (2) Paul W. Tuinenga. *SPICE : a guide to circuit simulation and analysis using PSPICE*. MicroSim Co., p. 46, Fig. 9. 2, Fig. 9. 4, 1988.

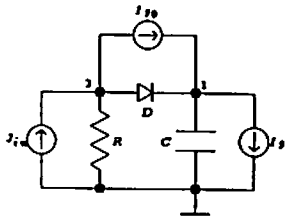


Fig. 1 : 増幅検波器
 $J_{in}=0.028 \times \sin(2\pi f \times t + \varphi)$;
 $I_{on}=1.5 \times 10^{-3} \text{ A}$; $I_s=2.0 \times 10^{-7}$; $\varphi=0$;
 $f=10\text{Hz}, 100\text{Hz}, \dots, 100\text{MHz}$;
 $R=50\Omega$; $C=1\mu\text{F}$

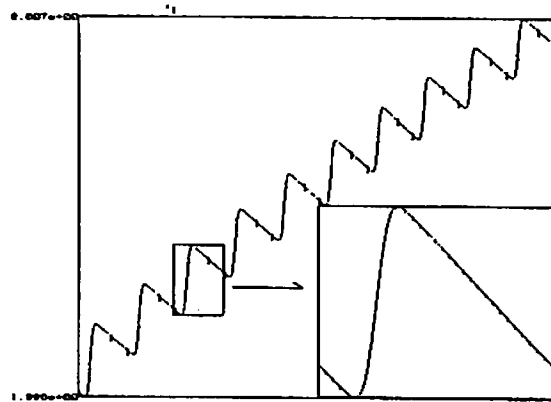


Fig. 2 : 増幅検波器の定常状態応答
 $f=100\text{kHz}$, $\varepsilon=1 \times 10^{-7}$

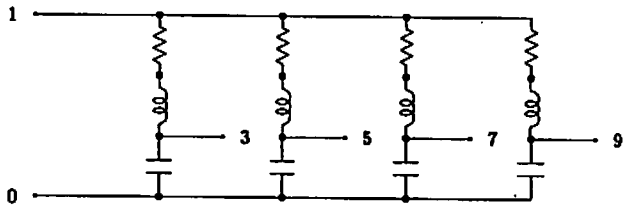


Fig. 3 : 4 段フィルタ

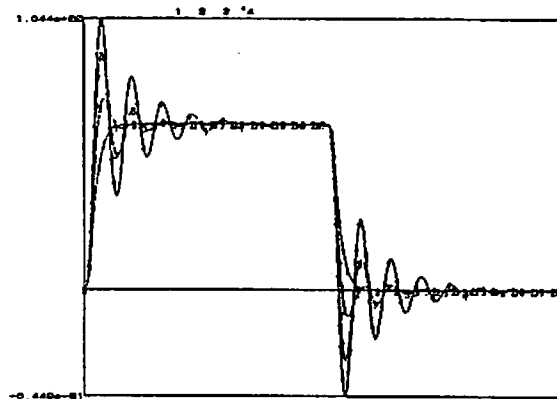


Fig. 4 : 4 段フィルタの解析結果 (パルス波入力)

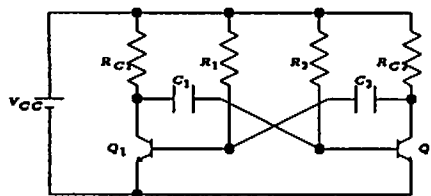


Fig. 5 : マルチバイブレータ

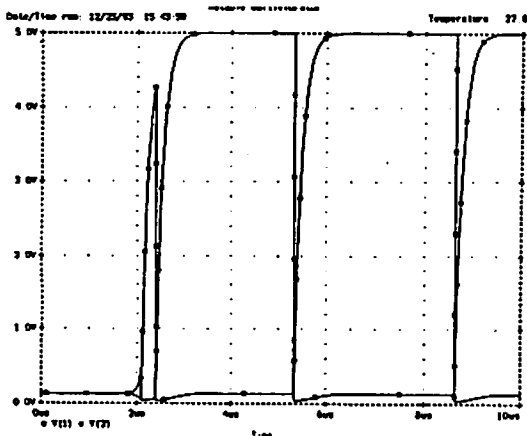


Fig. 6 : SPICE による解析結果

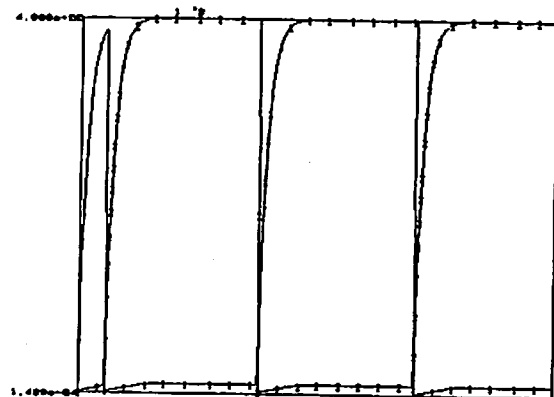


Fig. 7 : POISK による解析結果