

# 大規模集積回路の大域的求解法の開発とその実用化に関する研究

研究代表者 山村 清隆 研究員

## 大規模集積回路(LSI)設計

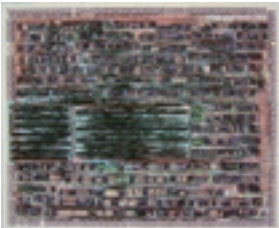
- **回路シミュレーション**
    - LSI 設計における中心的作業の1つ
    - SPICE・・・世界中で使用されている回路シミュレータ
  - **SPICEの非収束問題**
    - 直流動作点解析で派生する非線形方程式
    - 大規模で非線形性が非常に強い(ニュートン法が収束しない)
- ↓ 理論面・実用面の両方から解決
- **大域的収束性を持つホモトピー法**

## 産業界における本研究の成果

- **最も解析が困難とされるバイポーラアナログ回路に対して、その最大級である2万素子クラスのLSIを世界で初めて収束の保証付きで解くことに成功**
- **本技術を適用して設計・開発・製造したバイポーラアナログLSIの実績**
  - **【生産金額】**年間約800億円
  - **【生産数量】**年間10~12億個
  - **【開発期間】**従来の2年から1年に短縮
  - **【開発技術】**例えば音響・映像機器向けの各種高機能・高性能1チップLSIの開発に成功
  - **【主な使用先】**家庭用電気製品、マルチメディア製品、パソコン、携帯電話等に使用されている
- **上記のアルゴリズムはIEEEの次世代SPICEプロジェクトで採用**
  - 世界中の設計者が収束率100%の回路シミュレータを利用可能 (<http://ngspice.sourceforge.net/devdoc.html>)



開発された世界最大級のLSI



開発された世界最大級のLSIのレイアウト図

## 可変利得ホモトピー(VGH)法

- **海外で提案されたホモトピー法**
  - 欧米で開発され、多くの研究が行われているホモトピー法
  - **可変利得**の概念の導入により解曲線がスムーズになる
  - **Bifurcation free**という利点がある(解曲線が分岐を起こさない)
- **VGH法の欠点**
  - **良い初期値を使用することができない**(重要な未解決問題)
  - **モデルサブルーチンの修正を要する**(プログラムの書き換えが必要)
  - **SPICEへの実装が困難**(かなりの専門的知識と労力を要する)
- **3つの問題点を解決した効率的なVGH法の提案**
  - **良い初期値を用いることができるため、計算効率が大幅に改善される**(Bifurcation freeの性質はそのまま残る)
  - **複雑なプログラミングが必要ない**(すべてをSPICEのみで実現できる)
  - **SPICEに搭載された様々な効率化手法をそのまま活用できる**

## SPICE上への実装

$$f(x) + (1 - \lambda)f(x) + (1 - \lambda)G(x - a) = 0$$

$$\sum_{i=1}^m \left( \frac{dv_{be_i}}{ds} \right)^2 + \left( \frac{d\lambda}{ds} \right)^2 = 1$$

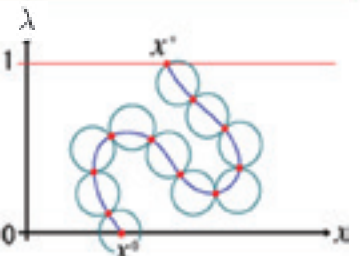
パス追跡回路

式を回路で記述する



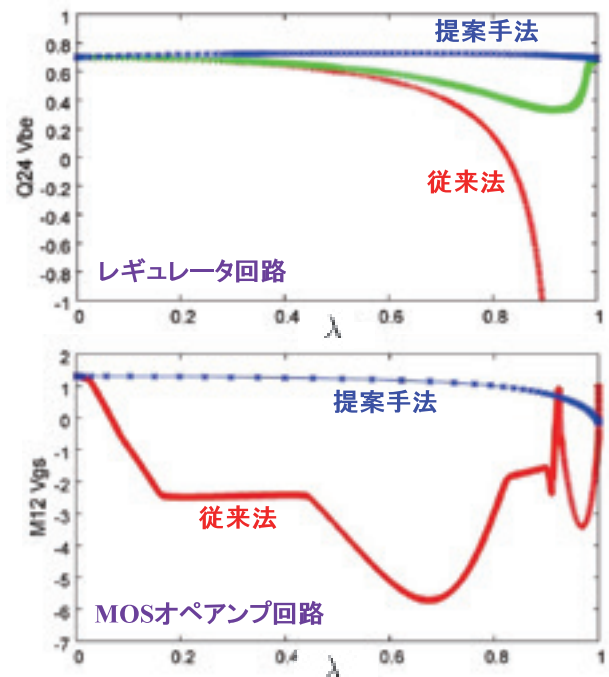
提案手法の特徴

- 大域的収束性が保証されている
- インプリメンテーションが容易
- 初期値を自由に設定できる
- パスを追跡する空間の次元が低い
- ➡ **計算効率の飛躍的改善**
- 欧米で行われている研究へのインパクトと波及効果



ホモトピー法のイメージ図

## SPICE実験例



発表国際会議: IEEE MWSCAS

発表論文誌: IEEE Transactions on Circuits and Systems