

SPICE指向型数値解析法による 大規模集積回路解析に関する研究

研究代表者 山村 清隆 研究員

大規模集積回路(LSI)設計

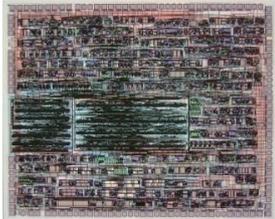
- 回路シミュレーション
 - LSI設計における中心的作業の1つ
 - SPICE・・・世界中で使用されている回路シミュレータ
 - SPICEの非収束問題
 - 直流動作点解析で派生する非線形方程式
大規模で非線形性が非常に強い(ニュートン法が収束しない)
- 理論面・実用面の両方から解決
- 大域的収束性を持つホモトピー法

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

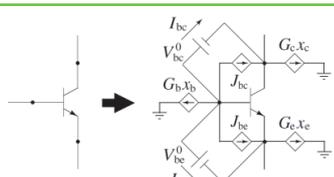
$$f(x) + (1 - \lambda)f(x) + (1 - \lambda)G(x - a) = 0$$

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

式を回路で記述する

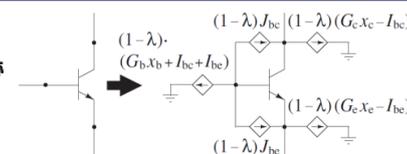
第1段階

初期回路をSPICEの直流解析で解き、初期値とGaを求める
初期回路は線形回路となるので必ず収束する
(良い初期値が設定される)

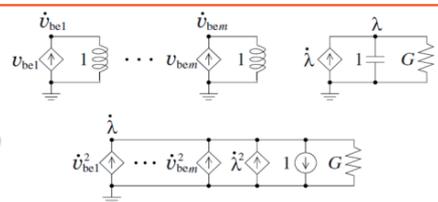


第2段階

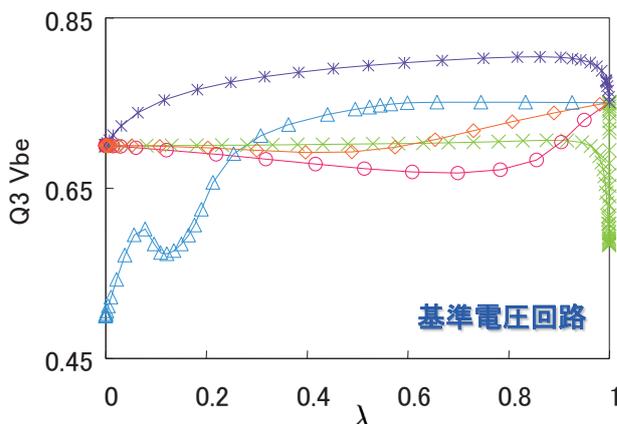
ホモトピー回路とパス追跡回路をまとめてSPICEで過渡解析する
(解曲線が追跡される)



パス追跡回路
微分代数方程式の回路表現



SPICE実験例



- △ : ニュートンホモトピー法
- × : 不動点ホモトピー法
- * : ニュートン不動点ホモトピー法
- : 可変利得ホモトピー法
- : 可変利得ニュートンホモトピー法

発表国際会議: IEEE MWSCAS

発表論文誌: IEEE Transactions on Circuits and Systems