

Green-Williams-Lis: オペアンプの SPICE モデルの改良

Tamara Alani, Ian Williams



SPICE モデルとは？

SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) は、幅広い基本回路と高度な回路の設計、テスト、トラブルシューティングに使用されている強力な回路設計シミュレーション・ツールです。デバイス・モデルとは、実際の電子デバイスに似せた SPICE 回路コンポーネントです。実験室でテストした物理的デバイスの結果を再現するために、モデルの特性と仕様を独自にプログラミングします。

新しいデバイスが市場に投入される前でも、SPICE シミュレータでデバイス・モデルを使用することで、これらのデバイスの性能をコンピュータで簡単に評価できます。お客様はデバイスを選定した後で、シミュレーションの結果が実際の回路測定値とぴったり一致することを確認して、ボードおよびシステム・レベル設計を行うことができます。最後に、アプリケーション・エンジニアもこれらのシミュレーションを用いて、自分の顧客の設計の問題点をテストおよび解決できます。

シミュレーションの主な利点は、注文した部品、PCB、ツールを待たずに、すぐに問題を調査できることにあります。これにより回路の接続や機能を簡単に検証できます。

SPICE シミュレータの差

TI が推奨するシミュレータ TINA-TI は、高度なアルゴリズムを採用することでシミュレーションの収束を高速化しています。その他の SPICE シミュレータは古いアルゴリズムを使用していることもあり、複雑な回路ではなかなか収束しないことがあります。シミュレータがどうであれ、半導体メーカーは確実に使える SPICE モデルを提供する必要があります。

過去の TI SPICE モデル

2007 年より前の TI オペアンプ・モデルは、トランジスタ・ベース (複雑で設計および収束しづらい) とハイブリッド (トランジスタとビヘイビア・アーキテクチャの組み合わせ) のどちらかでした。これらの古いモデルの一部は、実際のデバイスに対する精度が不十分でした。

2007 年に、TI のアプリケーション・エンジニアである Tim Green と Marek Lis が新しい SPICE モデル・アーキテクチャとなる Green-Lis (GL) モデルをリリースしました。このアーキテクチャはビヘイビアおよびモジュール型であり、主要なオペアンプ・データシート・パラメータの高速かつ正確なモデル化が可能になりました。ほとんどの GL モデルは TINA-TI で問題なく使用できますが、その他のシミュレータでは困難なものもあります。

現在の TI SPICE モデル

次世代 SPICE モデルとして、2016 年に登場したのは Green-Williams-Lis (GWL) アーキテクチャです。TI のアプリケーション・エンジニアである Ian Williams が開発したこの新しいモデルは、主に次の 3 つの点について GL アーキテクチャを改良したものです。

1. シミュレータ間の互換性
2. 収束速度
3. データシート・パラメータのモデル化の精度

GWL モデルは、すべての PSpice ベースのシミュレータでの電気的特性の精度と収束性について十分にテストおよび検証されています。したがってお客様 (設計者) は、どの SPICE ソフトウェアを使用しても同じ結果を得ることができます。定期的に新機能を追加することで、実環境に対する精度を継続的に改善しています。

TI がモデル化する仕様は？

アンプの SPICE モデルは、デバイスの性能を全体的によく再現するために、室温での標準仕様の電気的特性を対象として設計されています。標準仕様は生産される全デバイスの 68.3%、すなわち正規 (ガウス) 分布の標準偏差 ± 1 シグマをカバーします。

GWL モデルを使うと、設計者は次のようなパラメータをシミュレートできます。

- 入力オフセット電圧 (V_{OS})
- 入力バイアス電流 (I_B)
- 入力電圧ノイズ密度 (e_n)

- 開ループ・ゲインおよび位相 (A_{OL})
- 出力インピーダンス (Z_o)
- 同相信号除去比 (CMR)
- 電源除去比 (PSR)

設計者が最初の PCB をシミュレーションのみで開発できるように、GWL モデルは継続的に拡張されています。以下のセクションに、GWL モデルとテストしたデータシートの曲線、ならびに競合メーカーのモデルとの比較を示します。

GWL の例と比較

図 1 に、OPA2189 の周波数に対する開ループ出力インピーダンス (Z_o) 曲線を示します。業界最高水準の帯域幅 (14MHz) を持つこのオペアンプは、ゼロドリフト、MUX 対応であり、入力オフセット電圧はわずか $1.5\mu V$ 、ドリフトは $0.005\mu V/^\circ C$ です。新しい GWL モデルを使うと、この特性をシミュレートして (図 2 参照)、モデルが実デバイスと一致していることを確認できます。

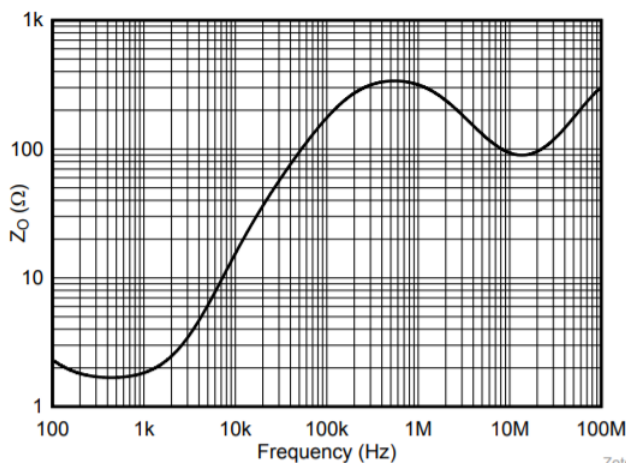


図 1. OPA2189 のデータシートによる Z_o 曲線

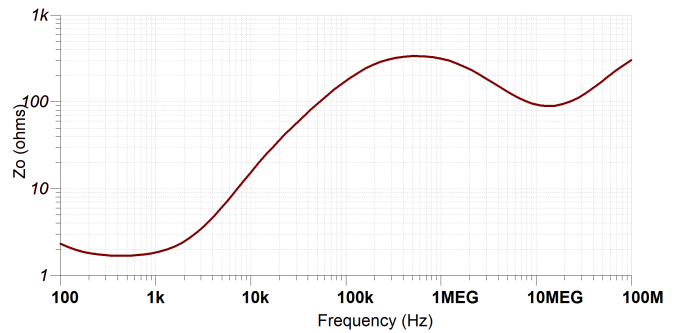


図 2. OPA2189 の Z_o の GWL シミュレーション結果

その他の半導体メーカーもモデル付きデバイスをリリースしていますが、多くの場合、そのモデルは実デバイスを正確に再現していません。データシートの曲線をモデル・シミュレーションと比較すると、結果は著しく異なります。図 3 に、競合他社のオペアンプのデータシートの閉ループ出力インピーダンス曲線を示します。図 4 に、同じデバイスのモデルのシミュレーション結果を示します。これらの曲線は一致せず、このモデルは結局のところ小信号安定性解析や動的負荷の駆動では役に立ちません。大事な設計では、モデルがデータシートで規定された仕様と一致していることを検証することが重要です。オペアンプの完全なシミュレーション・テスト・ベンチによる設計の詳細は、次のリンクから Ian William による一連の記事を参照してください。

<https://www.edn.com/design/analog/4460430/The-complete-simulation-test-bench-for-op-amps--Part-1--Output-impedance>.

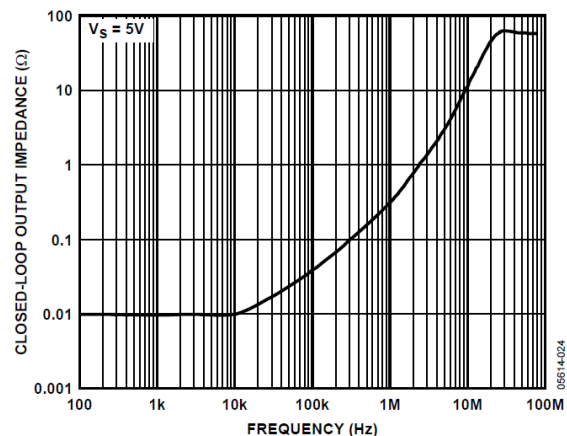


図 3. 競合メーカーのデータシートによる閉ループ出力インピーダンス曲線

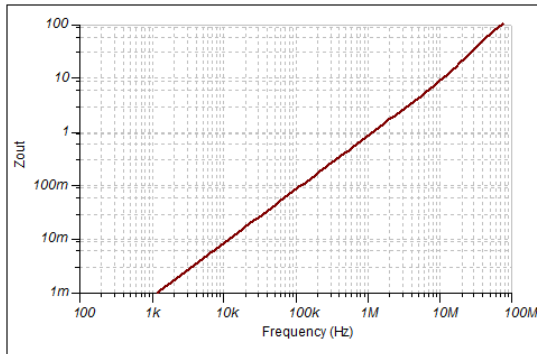


図 4. 競合メーカーの閉ループ出力インピーダンスのモデル・シミュレーション

この新しいモデルを採用したデバイスは何？

2016年6月以降にリリースされた新規の高精度アンプのモデルは、いずれも **GWL** アーキテクチャを採用しています。古いオペアンプ・モデルは定期的に **GWL** に更新されています。モデルが **GWL** であるかどうかを確認するには、**TI** のオペアンプ製品フォルダからそのモデルをダウンロードし、ネットリストに **GWL** という文字があることを確認してください。

最新の **GWL** オペアンプについては表 1 をご覧ください。その他の **TI** オペアンプについては、ti.com/amplifier-circuit/op-amps/products を参照してください。

表 1. **TI** の最新の **GWL** オペアンプ

デバイス	概要
OPA2210	36V、18MHz、オフセット 5 μ V、ノイズ 2.2nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 、RRO
OPA2156	36V、25MHz、オフセット 25 μ V、ノイズ 4.3nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 、RRIO
OPA828	36V、50MHz、オフセット 50 μ V、ノイズ 4nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 、RRO
OPA2189	36V、14MHz、オフセット 0.4 μ V、ノイズ 5.2nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 、RRO
OPA388	5V、10MHz、オフセット 0.25 μ V、ノイズ 7nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 、RRIO

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションが適用される各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、またはその他の要件を満たしていることを確実にする責任を、お客様のみが単独で負うものとします。上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、TI の販売条件 (www.tij.co.jp/ja-jp/legal/termsofsale.html)、または ti.com やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

Copyright © 2019, Texas Instruments Incorporated
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションが適用される各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、またはその他の要件を満たしていることを確実にする責任を、お客様のみが単独で負うものとします。上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、TI の販売条件 (www.tij.co.jp/ja-jp/legal/termssofsale.html)、または ti.com やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

Copyright © 2019, Texas Instruments Incorporated

日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社