

# Green-Williams-Lis: 改进的运算放大器 Spice 模型

Tamara Alani, Ian Williams



## 什么是 SPICE 模型?

以集成电路为重点的仿真程序 (SPICE) 是一款强大的电路设计和仿真工具, 可用于设计、测试各种基本和高级电路, 并对其故障排除。器件模型是指类似于实际电子器件的 SPICE 电路组件。模型特征和规格经过独特的编程, 以模拟物理器件的实验室测试结果。

工程师们从任何计算机的舒适性着手, 使用具有 SPICE 仿真器的器件模型来评估新器件 (有时甚至是尚未上市的器件) 的性能。选择器件之后, 客户便可以创建电路板级和系统级设计, 并相信他们的仿真结果将非常贴近实际电路测量值。最后, 应用工程师们还会使用这些仿真来测试和解决客户设计中遇到的问题。

仿真的一个主要优势就是, 无需等待订购的部件、PCB 或实验室设备, 便可迅速检查问题。此优势使得验证电路连接和功能变得非常简单。

并非所有的 SPICE 仿真器都设计得完全一样

TI 的首选仿真器 TINA-TI 采用高级算法, 以便迅速实现仿真收敛。其他的 SPICE 仿真器可能会使用旧版算法, 并且在复杂的电路中很难实现收敛。无论仿真器如何, 半导体制造商都必须提供能够可靠运行的 SPICE 模型。

## 以前的 TI SPICE 模型

在 2007 年之前, TI 运算放大器不是基于晶体管 (复杂的设计和收敛), 就是混合形式 (晶体管和行为的组合)。与实际器件相比, 其中一些旧版模型具有不精确性。

在 2007 年, TI 的应用工程师 Tim Green 和 Marek Lis 发布了新的 SPICE 模型架构, 即 Green-Lis (GL) 模型。这是一个行为和模块化架构, 借此可对关键的运算放大器数据表参数进行迅速精确的建模。大多数 GL 模型都能够与 TINA-TI 进行良好的配合, 但有些却难以适应其他的仿真器。

2016 年推出的新一代 SPICE 模型为 Green-Williams-Lis (GWL) 架构。这个新模型由 TI 的应用工程师 Ian Williams 开发, 并基于 GL 架构针对以下三个主要类型进行了改进:

1. 仿真器的兼容性
2. 收敛速度
3. 数据表参数建模的精确度

我们已在所有基于 PSpice 的仿真器中, 针对电气精度和收敛性能对 GWL 模型进行了完整的测试和验证。进行此验证, 可使客户和设计人员获取相同结果并确保任何 SPICE 软件的出色性能。我们会定期添加新功能以不断提高与实际器件相对的精度。

## TI 模型有哪些规格?

放大器 SPICE 模型是针对室温下的典型电气特性而设计的, 以便获得良好的设备性能整体展示。典型规格在生产的所有器件中占 68.3%, 或者在正态高斯分布图中占据  $\pm 1 \sigma$  区域。

GWL 模型允许设计人员对以下参数以及其他项进行仿真:

- 输入失调电压 ( $V_{OS}$ )
- 输入偏置电流 ( $I_B$ )
- 输入电压噪声密度 ( $e_n$ )
- 开环增益和相位 ( $A_{OL}$ )
- 输出阻抗 ( $Z_O$ )
- 共模抑制 (CMR)
- 电源抑制 (PSR)

我们会不断增强 GWL 模型的功能, 以帮助设计人员仅通过仿真便可通过 PCB 的第一阶段。下一部分中显示了 GWL 模型与经过测试的数据表曲线以及竞争对手模型比较。

## 目前的 TI SPICE 模型

## GWL 示例和比较

图 1 显示了开环输出阻抗 ( $Z_o$ ) 与 OPA2189 频率的关系曲线, 业界最高带宽 (14 MHz) 的零漂移、支持多路复用器的运算放大器仅具有  $1.5 \mu\text{V}$  的输入失调电压和  $0.005 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  的漂移。如图 2 所示, 借助新的 GWL 模型, 您可以仿真该特征, 并证明该模型与真实器件相匹配。

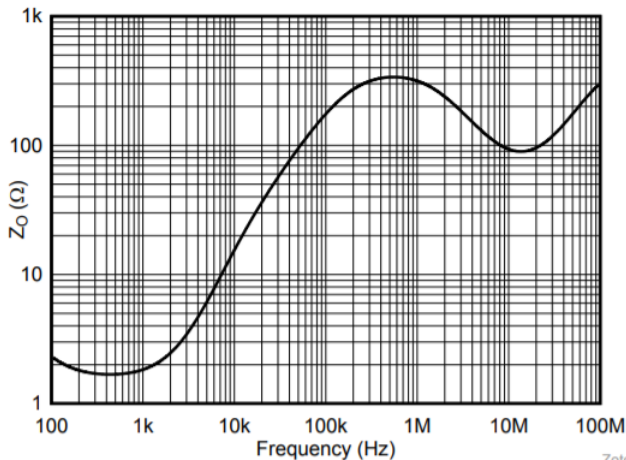


图 1. 数据表中的 OPA2189  $Z_o$  曲线

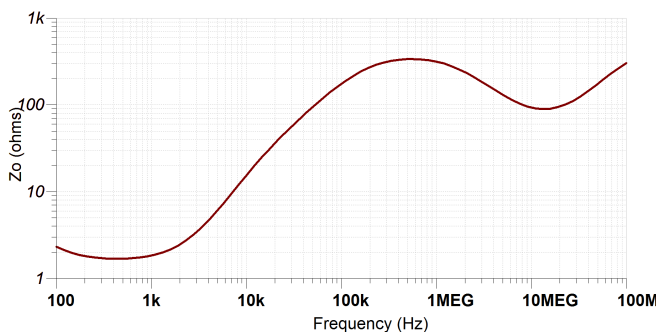


图 2. OPA2189  $Z_o$  GWL 仿真结果

其他的半导体公司也推出了一些器件模型。然而, 在许多情况下, 模型并不能精确地代表真实的器件。当数据表曲线与模型仿真进行比较时, 您会发现结果迥然不同。图 3 显示了竞争对手运算放大器的闭环输出阻抗的数据表曲线。图 4 显示了相同器件的模型仿真结果。这些曲线并不一致, 因此该模型对于小信号稳定性分析或驱动动态负载来说最终并无益处。对于关键设计来说, 重要的是确定您的模型与数据表承诺的规格相匹配。若想要阅读有关为运算放大器设计完整的模拟测试台的更多信息, 以下链接可转至 Ian Williams 编写的包含多个部分的文章系列。

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

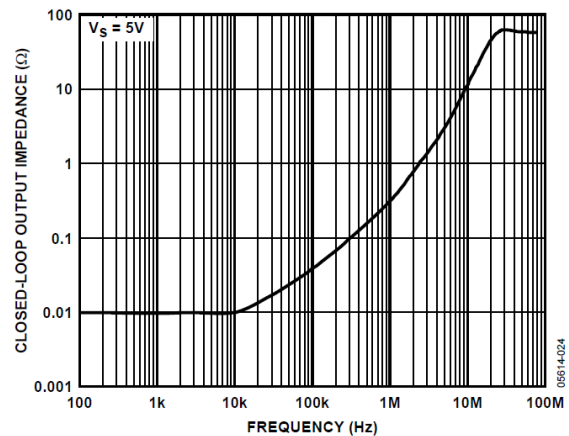


图 3. 数据表中的竞争对手闭环输出阻抗曲线

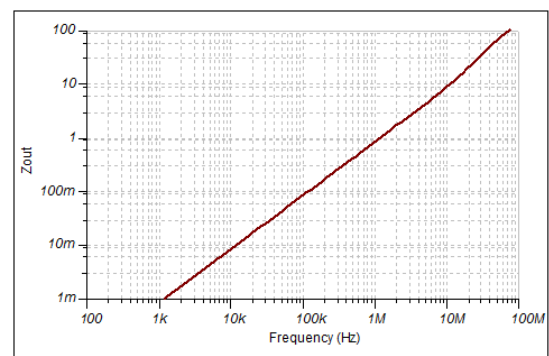


图 4. 竞争对手的闭环输出阻抗的模型仿真

哪种器件拥有这种新的模型?

2016 年 6 月之后发布的所有新的精密放大器均使用 GWL 架构。旧版运算放大器模型会定期更新至 GWL。若要查看一个模型是否为 GWL, 请从 TI 的运算放大器产品文件夹中下载模型, 并查看字符 GWL 的网表。

请查看表 1, 了解我们最新的 GWL 运算放大器列表。请访问 [ti.com.cn/zh-cn/amplifier-circuit/op-amps/products](http://ti.com.cn/zh-cn/amplifier-circuit/op-amps/products) 以查找更多的 TI 运算放大器

表 1. TI 最新的 GWL 运算放大器

器件	说明
OPA2210	36V, 18MHz, $5\mu\text{V}$ 失调电压, $2.2\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 噪声, RRO
OPA2156	36V, 25MHz, $25\mu\text{V}$ 失调电压, $4.3\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 噪声, RRIO
OPA828	36V, 50MHz, $50\mu\text{V}$ 失调电压, $4\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 噪声, RRO
OPA2189	36V, 14MHz, $0.4\mu\text{V}$ 失调电压, $5.2\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 噪声, RRO

表 1. TI 最新的 **GWL** 运算放大器 (continued)

OPA388	5V, 10MHz, 0.25 $\mu$ V 失调电压, 7nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 噪声, RRIO
--------	--

## 重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性 & 可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用 TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品；(2) 设计、验证并测试您的应用；(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及 TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对 TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受 TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及 [ti.com.cn](http://www.ti.com.cn) 上或随附 TI 产品提供的其他可适用条款的约束。TI 提供所述资源并不扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122  
Copyright © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司

## 重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的TI 产品；(2) 设计、验证并测试您的应用；(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及ti.com.cn上或随附TI产品提供的其他可适用条款的约束。TI提供所述资源并不扩展或以其他方式更改TI 针对TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122  
Copyright © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司