

## Application Brief

## 为分立式可编程增益放大器 (PGA) 选择合适的多路复用器



Nikhil Kanzarkar

## 简介

可编程增益放大器 (PGA) 是一种增益由数字或模拟信号控制的电子放大器。PGA 结合电子器件的两个基本构建块：多路复用器和放大器。PGA 常见用例包括数据采集系统和电机驱动器。通常，当输入传感器信号需要在不同的增益值之间变化，然后进行放大以便将信号传输到下一个系统元件时，PGA 非常有用。多路复用器允许在不同的增益值之间进行切换，改变放大水平。本文档探讨在 PGA 中使用多路复用器的原因以及为 PGA 选择合适的多路复用器时需要考虑的两个关键参数：导通电容 ( $C_{ON}$ ) 和导通电阻 ( $R_{ON}$ )。

## 为何选择多路复用器？

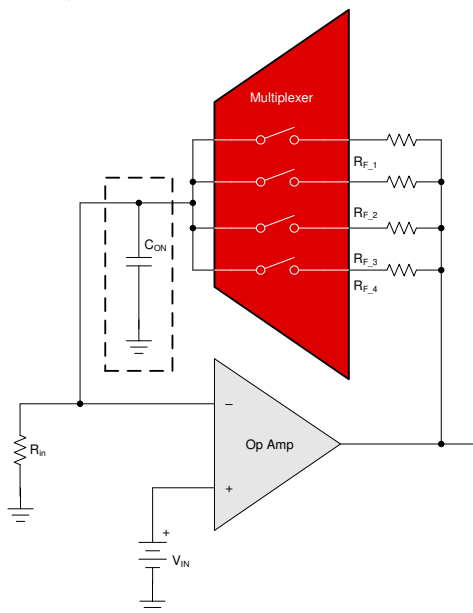


图 1. 基础分立式 PGA 的电路模型

要获得不同的增益值，反馈电阻 ( $R_f$ ) 值 (请参阅图 1) 必须根据同相运算放大器 方程式 1 规定的所需增益而变化。

$$\text{Gain} = 1 + \frac{R_f}{R_{in}} \quad (1)$$

这种变化可以使用多路复用器来实现。多路复用器允许系统设计人员在不同的  $R_f$  值之间切换，从而支持多种增益。多路复用器是经济高效的设计，可在 PGA 内部使用，因为多路复用器具有多种配置，同时系统设计人员可以灵活地实现所需增益。

## 低导通电容

寄生导通电容与运算放大器反馈电阻相互作用，可能会出现稳定性问题，如图 1 所示。多路复用器的导通电容会导致多路复用器输出信号出现振荡，对放大信号的完整性产生负面影响。因此，选择 TMUX1511 等具有低  $C_{ON}$  的多路复用器有助于最大限度减少信号失真，提高输出放大器信号的质量和精度。

例如 1:1 开关单通道的电容值通常为 40pF。因此，当所有四个通道均导通时，反馈路径的总  $C_{ON}$  为 160pF。但使用低  $C_{ON}$  多路复用器 (例如 TMUX1511,  $C_{ON}$  为 2.5pF)，会在所有四个通道导通的情况下产生仅 10pF 的总反馈电容。显著减小的反馈电容可确保信号振荡极小，对放大信号的总体影响也极小，如图 2 所示。有关更多信息，请参阅 [使用低  \$C\_{ON}\$  多路复用器改善稳定性问题](#)。

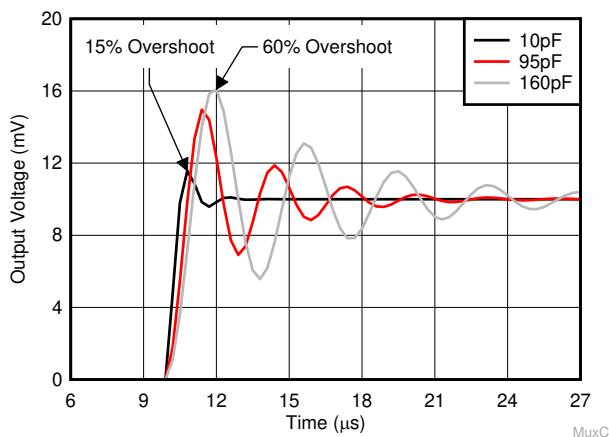


图 2. 运算放大器不稳定

### 低导通电阻

多路复用器的导通电阻必须尽可能低，以便通过放大最大限度提高信号完整性。 $R_{ON}$  越高， $R_{ON}$  平坦度范围越宽，增益误差越高，输出信号的失真越大。多路复用器的增益误差随多路复用器  $R_{ON}$  的增加而增大。例如可以使用 [方程式 2](#) 计算 [图 1](#) 中电路的增益误差。

$$G_{error} = \frac{R_{ON}}{R_{in} + R_f} \times 100 \quad (2)$$

增益误差计算假定同相电路，不考虑影响增益误差的所有其他属性，因为计算从根本上侧重于  $R_{ON}$ 。如 [表 1](#)

### 其他资源

- 德州仪器 (TI), [TI 精密实验室 - 开关和多路复用器：导通电阻平坦度和导通电容](#), 视频。
- 德州仪器 (TI), [TI 精密实验室 - 运算放大器：稳定性](#), 视频。
- 德州仪器 (TI), [使用低  \$C\_{ON}\$  多路复用器改善稳定性问题](#), 应用简报

所示，随着  $R_{ON}$  从  $2\Omega$  增加到  $120\Omega$ ，增益误差从 0.18% 增加到 10.90%。此外，由于  $R_f$  与  $R_{ON}$  串联，因此与增益相比， $R_{ON}$  变化值的影响为线性。最后，在计算 [表 1-1](#) 中的增益误差时，假设启用信号路径以及  $R_{IN} = 100\Omega$  和  $R_f = 1k\Omega$  的值。

### 导通电阻与导通电容间的关系

通常需要在低  $R_{ON}$  值与低  $C_{ON}$  值之间进行权衡。为了实现低  $R_{ON}$ ，多路复用器芯片的尺寸需要更宽，以便电流在极小中断的情况下流动。但随着芯片尺寸的增加，导通电容也会增加。多路复用器上源极与漏极之间的距离较短，导通电容较低。因此，系统设计人员必须考虑  $C_{ON}$  与  $R_{ON}$  对系统的影响，确保为设计选择合适的多路复用器。前文提到的 [TMUX1511](#) 是一个多路复用器示例，具有低  $R_{ON}$  ( $2\Omega$ ) 和低  $C_{ON}$  ( $3.3pF$ )。

### 总结

本文档探讨在 PGA 中使用多路复用器的原因以及两个关键的多路复用器参数：导通电容和导通电阻。多路复用器用于切换不同的  $R_f$  值，进而允许同一运算放大器具有不同的增益值。在选择合适的多路复用器时，需要注意的两个关键参数是导通电容和导通电阻。导通电容越低，信号振荡和失真越低，输出信号越准确。低导通电阻可提供较低的增益误差，因此信号会更准确。最后，系统设计人员必须考虑  $C_{ON}$  与  $R_{ON}$  对系统的影响，确保为设计选择合适的多路复用器。

表 1. 增益误差比较和器件比较

| 器件                       | 配置  | 通道计数 | $R_{ON}$      | $C_{ON}$ | 增益误差   | 多路复用器友好型<br>运算放大器 |
|--------------------------|-----|------|---------------|----------|--------|-------------------|
| <a href="#">TMUX1511</a> | 1:1 | 4    | $2\ \Omega$   | 3.3pF    | 0.18%  | OPA2392           |
| <a href="#">TMUX1108</a> | 8:1 | 1    | $2.5\ \Omega$ | 65pF     | 0.23%  |                   |
| <a href="#">TMUX6112</a> | 1:1 | 4    | $120\ \Omega$ | 4.2pF    | 10.90% | TLV9351           |
| <a href="#">TMUX5412</a> | 1:1 | 4    | $20\ \Omega$  | 8pF      | 1.8%   |                   |

## 重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（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，不保证没有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、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司