

## Application Note

## 输入电压对电压和电流反馈放大器压摆率的影响



Hypatia Magyar

## 摘要

许多系统都需要高压摆率，例如。压摆率不足可能会导致输出失真，即上升时间偏长或呈现非线性关系。请务必了解，放大器的压摆率性能可能会出现显著降低的情况，具体取决于应用电路。对于没有内部压摆增强电路的电压反馈放大器来说尤其如此。电压反馈运算放大器的压摆率取决于其输入端电压，因此较小的输入阶跃可能会构成数据表压摆率值的一部分。压摆率取决于输入电压意味着高增益应用通常会导致压摆率性能显著降低。

但是，电流反馈放大器不会受到上述因素制约。电流反馈架构不仅能提供更高的压摆率，还能使压摆率在不同输入阶跃下保持相对恒定。本文档演示了 OPA690 (电压反馈) 和 OPA695 (电流反馈) 在高增益下的压摆率性能差异。

## 内容

1 背景.....	2
1.1 压摆率和压摆增强定义.....	2
1.2 电压反馈放大器的压摆率限制.....	2
1.3 电流反馈的压摆率内部构件.....	3
2 使用 OPA690 时的压摆率数据.....	3
3 使用 OPA695 时的压摆率数据.....	6
4 总结.....	7
5 参考资料.....	7

## 插图清单

图 1-1. 显示压摆率 (v/dt) 的运算放大器简化图.....	2
图 1-2. 电流反馈的简化图.....	3
图 2-1. 用于实验室测试的设置.....	3
图 2-2. OPA690 的脉冲响应 (在数据表条件下).....	4
图 2-3. OPA690 的脉冲响应 (G = 5).....	4
图 2-4. OPA690 在不同输入电压和增益下的脉冲响应.....	5
图 2-5. 压摆率与输入差分电压之间的关系.....	5
图 3-1. OPA695 在数据表条件下的脉冲响应.....	6
图 3-2. OPA695 的脉冲响应情况展示了不同输入电压和增益下的压摆率.....	6
图 3-3. OPA695 的压摆率似乎与 $V_{ID}$ 无关.....	7

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 背景

### 1.1 压摆率和压摆增强定义

对于放大器来说，压摆率通常定义为放大器输出的变化率，以电压随时间的变化为测量方式。器件特定数据表中的压摆率值是在指定配置下测得的总体最大值。通常，此配置是低增益下的大输入阶跃。数据表通常不提供有关其他配置的详细信息。

压摆增强是一个额外的电路，可实现更高的压摆率，且该压摆率远高于标准放大器架构中可能实现的压摆率。高速放大器通常都具有某种压摆增强电路。但是，数据表中并不会发布特定的压摆增强架构。实际上，器件是否具有压摆增强通常不会被披露。这为特定应用的压摆率值带来了更多不确定性，因为压摆增强架构的性能可能会因实现方式而发生变化。

### 1.2 电压反馈放大器的压摆率限制

电压反馈放大器可以简化成晶体管差分对、电流镜和输出缓冲级，如 [图 1-1](#) 所示。运算放大器的输入 ( $IN+$  和  $IN-$ ) 是差分对的输入。输入端的电压直接决定了该差分对的支路  $I1$  和  $I2$  上的电流。差分对底部的电流镜可迫使差分电流  $I2 - I1$  从右侧支路流出。如果输入电压完全匹配、则该电流为零。但是，如果施加输入阶跃，就会导致输入分流，从而使电流分流。差分电流进入缓冲级并为补偿电容器  $CC$  充电。电容器的电压变化率已知，由此可得出总体压摆率： $v/dt = (I1 - I2)/CC$ 。这表明压摆率与差分输入电压 ( $V_{ID}$ ) 之间存在直接关系。

由于尾电流源固定， $I1$  和  $I2$  可升高至电流源值  $B$ 。这会将最大压摆率值设置为  $-B/CC$  至  $+B/CC$ 。这可能会造成严重的限制，因为尾电流源会因其他设计原因被限制为较小的值。根据这种描述，很容易就能理解为什么高增益应用会导致低压摆率。在高增益情况下，输入差分电压非常小。差分电压不足，差分对便无法输出最大电流。

为了提高压摆率性能，一些放大器包含压摆增强电路，该电路可提供另一个电流源来添加补充电流，以便更快地为电容器充电。压摆增强电路可能会也可能不会依赖输入差分电压，具体取决于设计类型。有许多良好的资料来源可以进一步讲解电压反馈压摆率和压摆增强，其中一个便是 [逐步了解压摆率](#)。您可以在参考文献部分找到指向此资源和其他资源的链接。

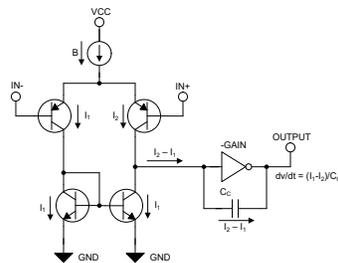


图 1-1. 显示压摆率 ( $v/dt$ ) 的运算放大器简化图

### 1.3 电流反馈的压摆率内部构件

通过使用电流镜和补偿电容器，可按图 1-2 所示方式对电流反馈放大器进行建模。与电压反馈放大器不同，反向输入的阻抗较低，允许输出端误差电流流经节点。该电流会生成镜像，并为补偿电容器充电。随着输出幅度的增加，更多的电流会流经反馈系统，并可用于为电容器充电。由于电流反馈放大器的误差电流远大于电压反馈放大器的尾电流，因此电流反馈放大器的压摆率可能会比电压反馈放大器高得多。尽管压摆率仍取决于  $V_{ID}$ ，但影响很小。

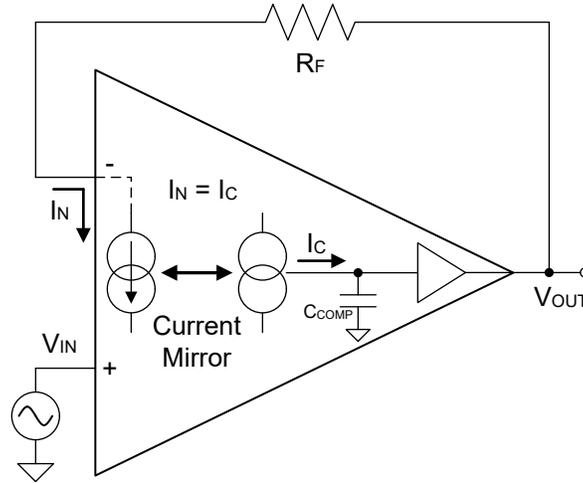


图 1-2. 电流反馈的简化图

## 2 使用 OPA690 时的压摆率数据

OPA690 是电压反馈放大器。由于附加电路可补充压摆率，因此与一般电压反馈放大器相比，OPA690 的压摆率非常高。器件特定数据表中的典型值为  $1800V/\mu s$ ，最小值为  $1400V/\mu s$ 。这是针对  $2V/V$  的增益和  $4V$  的输出阶跃而言，这代表输入是一个  $2V$  阶跃函数。此输入称为  $V_{ID}$ ，因为它是在放大器输入端瞬时施加的差分电压。

该器件使用 DEM-OPA-SOT-1B 电路板在同相配置中进行设置，如图 2-1 所示。

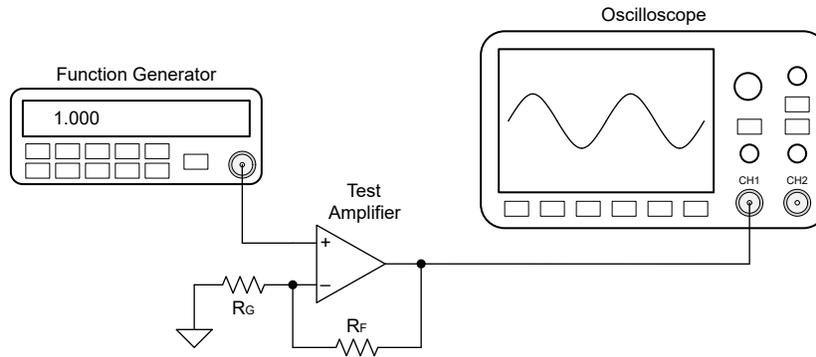


图 2-1. 用于实验室测试的设置

器件特定数据表设置的脉冲响应情况如 图 2-2 所示。由此可以计算出压摆率为 1560V/us，这处于根据规格确定的可接受误差裕度范围内。

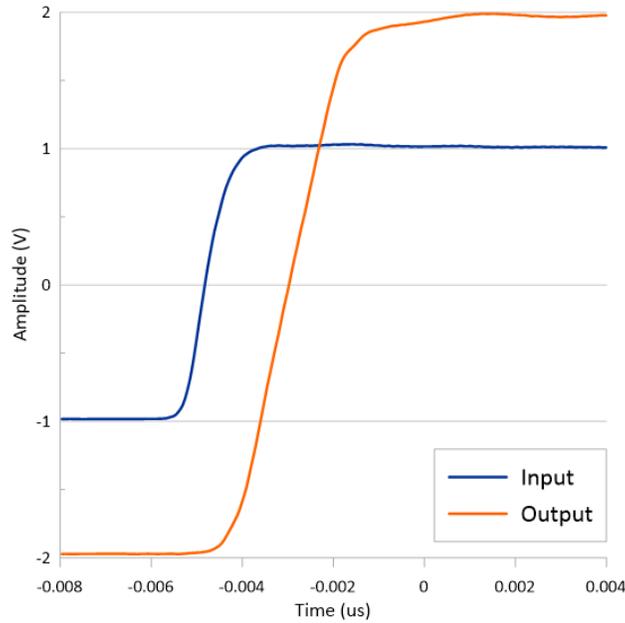


图 2-2. OPA690 的脉冲响应 (在数据表条件下)

图 2-3 展示了 OPA690 增益提升至 5V/V 时的脉冲响应情况。测得的压摆率为 573V/μs，由于输入差分电压受限，测量结果比较低增益配置下的压摆率慢得多。

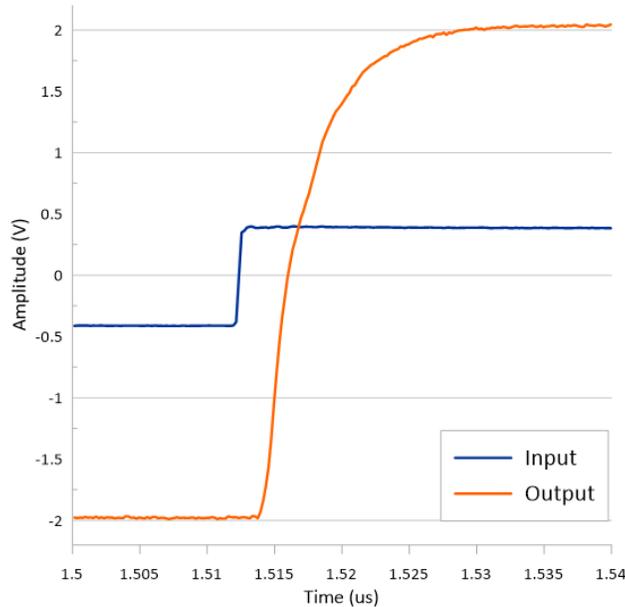


图 2-3. OPA690 的脉冲响应 (G = 5)。

图 2-4 展示了  $V_{ID} = 2$ 、0.8、0.4 和 0.2V 时的脉冲响应图（期间调整了增益以在输出端实现 4V 阶跃）。正如理论所预期的那样，随着输入差分电压的降低，压摆率会持续降低。

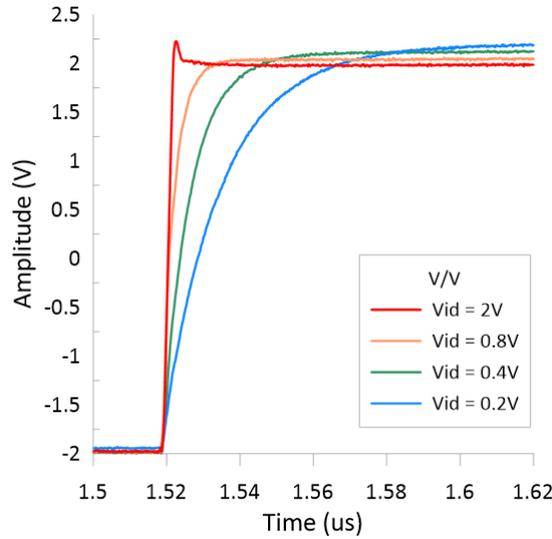


图 2-4. OPA690 在不同输入电压和增益下的脉冲响应

每次  $V_{ID}$  减小时，压摆率响应都会变慢很多。压摆率和  $V_{ID}$  之间的总体关系如图 2-5 所示。压摆率和输入差分电压之间存在的这种直接关系，是基于理论分析得出的预期结果。

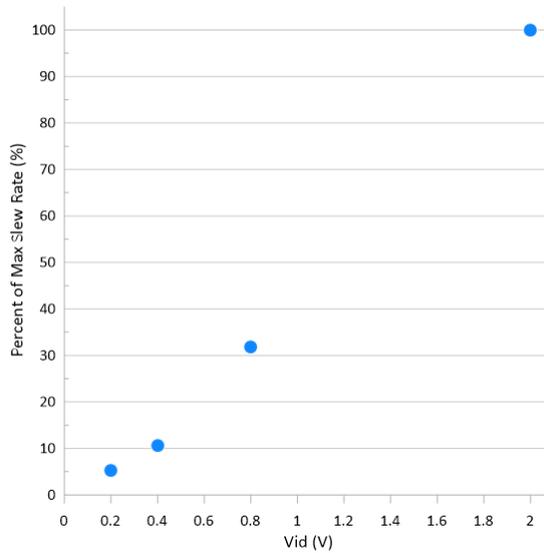


图 2-5. 压摆率与输入差分电压之间的关系

图 2-5 重点展示了压摆率会随着  $V_{ID}$  的减小急剧下降。[逐步了解压摆率](#) 展示了类似的压摆率与  $V_{ID}$  的关系图。但是，所展示的关系远没有我们的研究结果那样极端。例如，该白皮书的结果表明，在输入电压低至 0.1V 的情况下依然可以实现 100% 的器件最大压摆率，而 OPA690 大约需要 2V 的输入电压才能做到这一点。这在具有压摆率增强电路的放大器中很常见。尽管压摆率会随着  $V_{ID}$  的下降而急剧下降，但该值仍然比类似的无压摆增强电路放大器高得多。

### 3 使用 OPA695 时的压摆率数据

电流反馈放大器的架构不仅能提供更高的压摆率，还能确保压摆率不会随  $V_{ID}$  的变化而发生显著变化。以下实验使用 OPA695 电流反馈放大器进行测量。该器件的压摆率为  $2900V/\mu s$ 。OPA695 测试使用的设置与图 2-1 所示的用于 OPA690 测试的设置相同。图 3-1 展示了以器件特定数据表条件测试的 OPA695，它符合预期的性能。

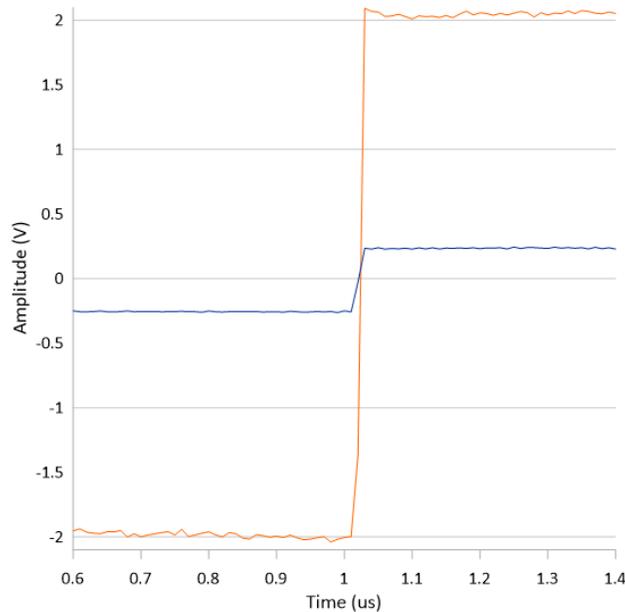


图 3-1. OPA695 在数据表条件下的脉冲响应

图 3-2 展示了在不同  $V_{ID}$  值下，OPA695 电流反馈放大器的脉冲响应情况。与 OPA690 不同，OPA695 在各个输入电压值下展现的边沿速率几乎相同。

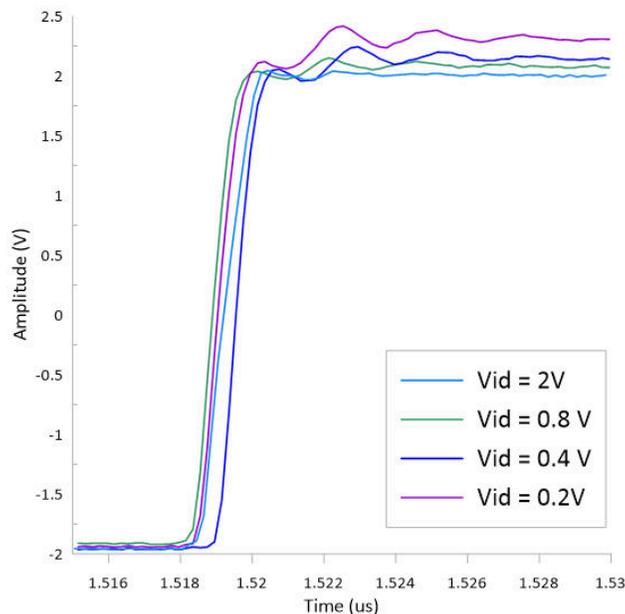


图 3-2. OPA695 的脉冲响应情况展示了不同输入电压和增益下的压摆率

图 3-3 展示了 OPA695 的压摆率与  $V_{ID}$  之间的关系。可以看出，OPA695 的压摆率变化比 OPA690 小得多。

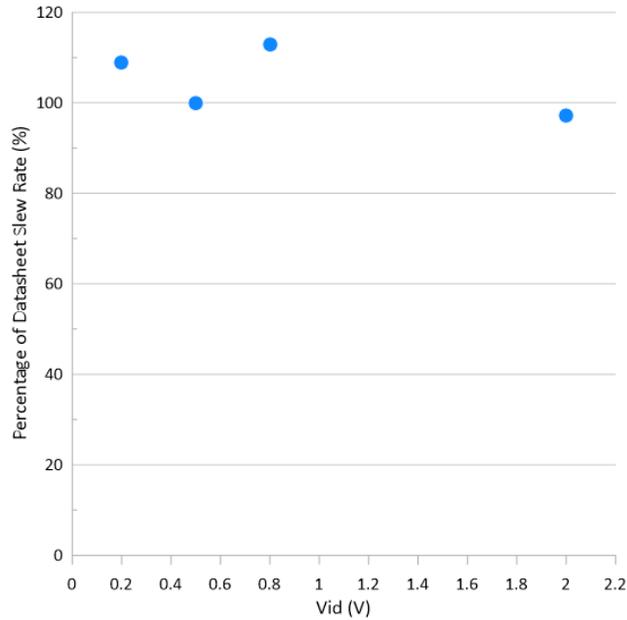


图 3-3. OPA695 的压摆率似乎与  $V_{ID}$  无关

## 4 总结

请务必注意，对于电压反馈放大器来说，压摆率与输入差分电压直接相关。与单位增益配置相比，采用高增益配置时，电压反馈放大器的压摆率性能会显著降低。

如果应用既需要高增益又需要高压摆率的，一种简单的解决方案是使用电流反馈放大器。正如本文档中的测量结果所示，即使在输入差分电压非常小的情况下，电流反馈放大器的独特架构也能够使其保持压摆率性能。

## 5 参考资料

- 德州仪器 (TI), [逐步了解压摆率](#)
- 德州仪器 (TI), [电流反馈放大器 - 压摆率](#), 视频

## 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