

## Technical Article

## 添加单个电容器来改善双路输出反激式电源的交叉调节性能



Brian King

需要多个输出电压的系统通常采用反激式转换器。在这些多输出反激式转换器中，同时对所有输出电压进行良好的调节是一项重大挑战。

**电源设计小贴士 78** 探讨了如何使用同步整流器改进输出电压之间的交叉调节。同步整流器可平衡输出电压，但代价是绕组中的均方根 (RMS) 电流较高、轻负载效率降低。在此电源设计小贴士中，我将通过一个生成相同幅值正/负输出的特殊案例继续讨论。在这种情况下，正确放置单个电容器可以改善所有负载条件下的交叉调节性能。

图 1 展示了 48V 至  $\pm 12V$  电源在正常配置下的简化原理图。要实施此处建议的技术，您必须首先稍微变换次级连接的位置，如图 1 所示，即添加电容器 C3 并将二极管 D2 从次级绕组的低侧移到高侧。另请注意，两个变压器次级绕组不再共用一个公共连接。除了增加的电容 C3 之外，图 1 在电气方面等同于图 1。

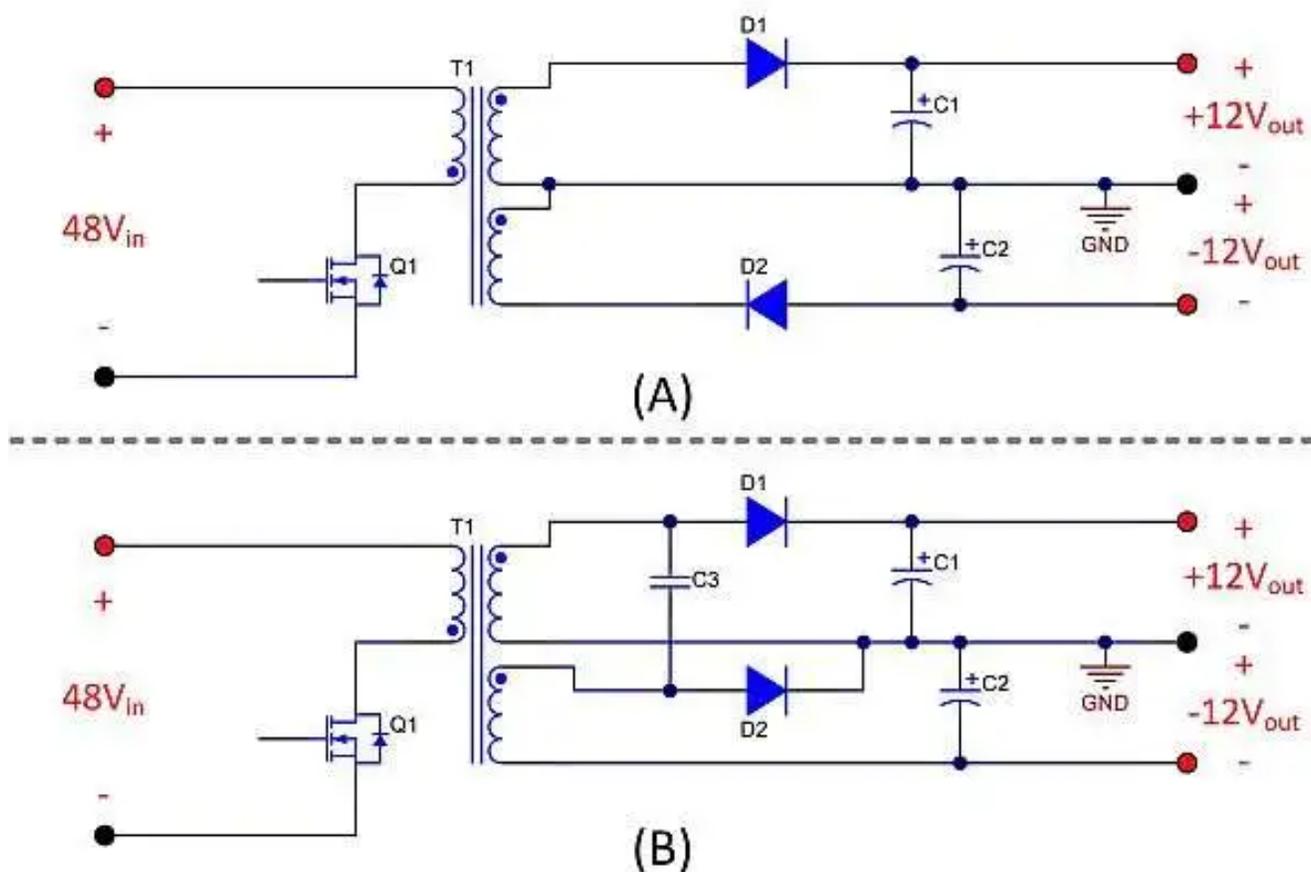


图 1. 双路输出反激式电源的典型配置 (a)；按图示重新配置和添加电容器可改善交叉调节 (b)。

图 2A 展示了当 Q1 关断且 D1 和 D2 导通时的电路状态。在此状态期间，变压器通过次级绕组向两个输出传递能量。请注意，C3 与 +12V 输出并联，因此可充电至相同的电压电平。

图 2B 展示了当 Q1 导通、D1 和 D2 反向偏置并处于关断状态时的电路状态。在此状态期间，当初级绕组通过输入电压充电时，变压器以磁性方式储能。在这种状态下，只要两个次级绕组的匝数相同，C3 两端的电压等于 -12V 输出的幅值，如图 2B 中所示的公式所述。随着电路在这两种状态之间进行交替，电容器 C3 充当电荷泵，

使两个输出电压的幅值均衡。这个电荷泵效应补偿了由电路中的寄生元件所导致的电压不平衡。如果两个次级绕组的匝数不同，则该技术将不起作用。

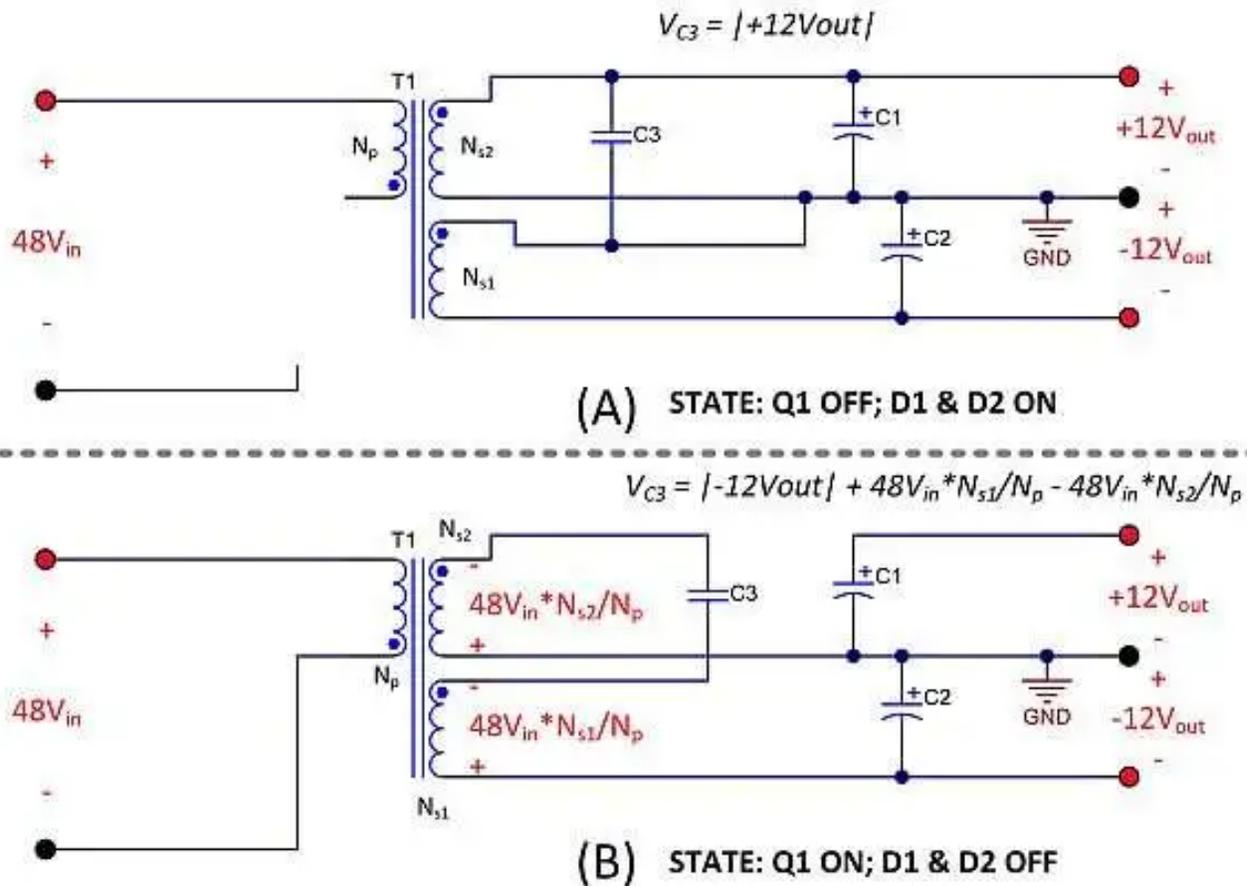


图 2. 电路的两个状态：Q1 关断，D1 和 D2 导通 (a)；Q1 导通，D1 和 D2 关断 (b)。

图 3 展示了对初级绕组和次级绕组上的漏电感进行建模的仿真原理图。如电源设计小贴士 78 所详述，这些漏电感会对调节性能造成很大影响。初级侧上的漏电感会导致初级侧出现短时电压电平，从而耦合到次级绕组上。次级绕组上的漏电感会降低两个输出电压之间的耦合。

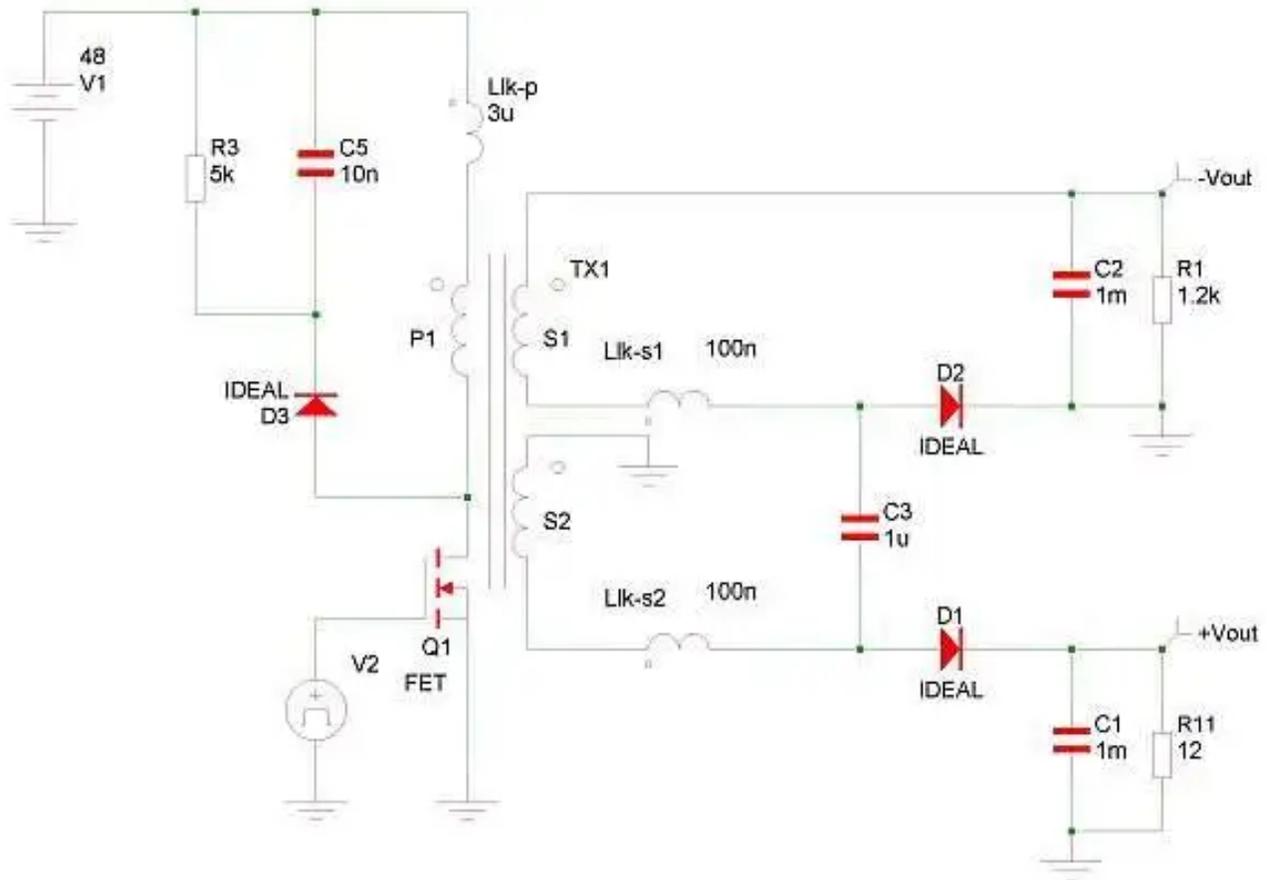


图 3. 探究漏电感对输出电压调节影响的仿真模型原理图。

图 4 展示了 +12V 输出、1A 负载和 -12V 输出、10mA 负载时，输出二极管中的电压和电流波形。添加 1 $\mu$ F 电容器 C3 不仅使两个输出保持良好耦合，还可以滤除由初级绕组漏电感引起的电压电平的影响。请注意，具有较低负载电流的 -12V 输出二极管电压有小幅振荡。此振荡是由与电容器 C3 谐振的漏电感引起的，并导致 -12V 输出二极管导通时发生相移。电流波形的有趣之处在于 -12V 电流保持了三角形，这是从 +12V 次级绕组电流中减去的。

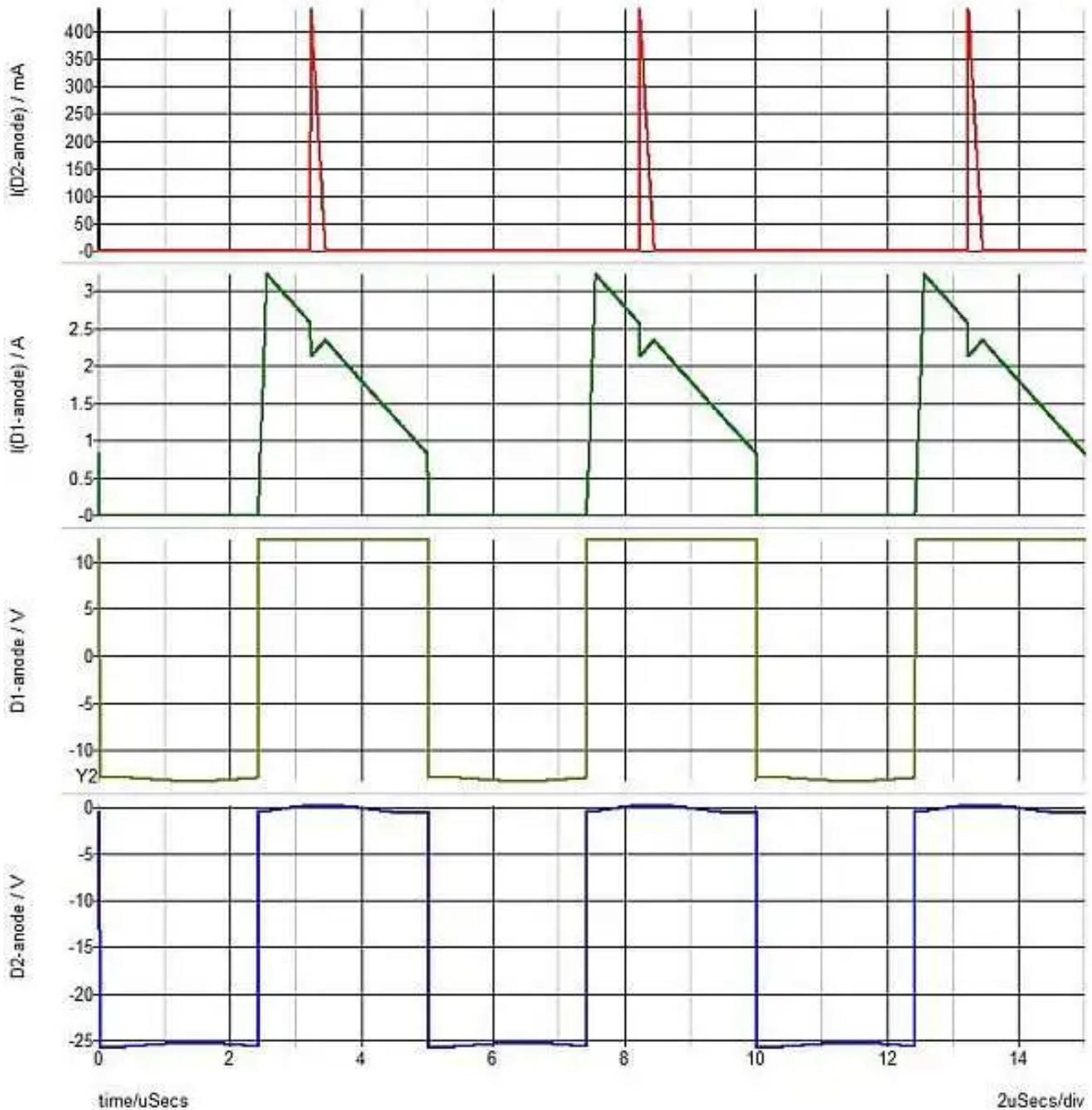


图 4. +12V 输出、1A 负载和 -12V 输出、10mA 负载下输出二极管的电压和电流波形。

图 5 中的图形展示了添加电容器后对调节的影响。在这里，我们根据两个输出上的不同负载条件绘制了仿真图，其中包括添加和未添加电容器的情形。

没有电容器时，随着 -12V 负载降至零，-12V 输出电压会显著上升。有电容器时，两个输出在整个负载范围内相差不足 3%。这些结果与使用同步整流器获得的结果类似（详见[电源设计小贴士 78](#)），但不会增加 RMS 绕组电流，而且几乎不会增加成本或复杂性。

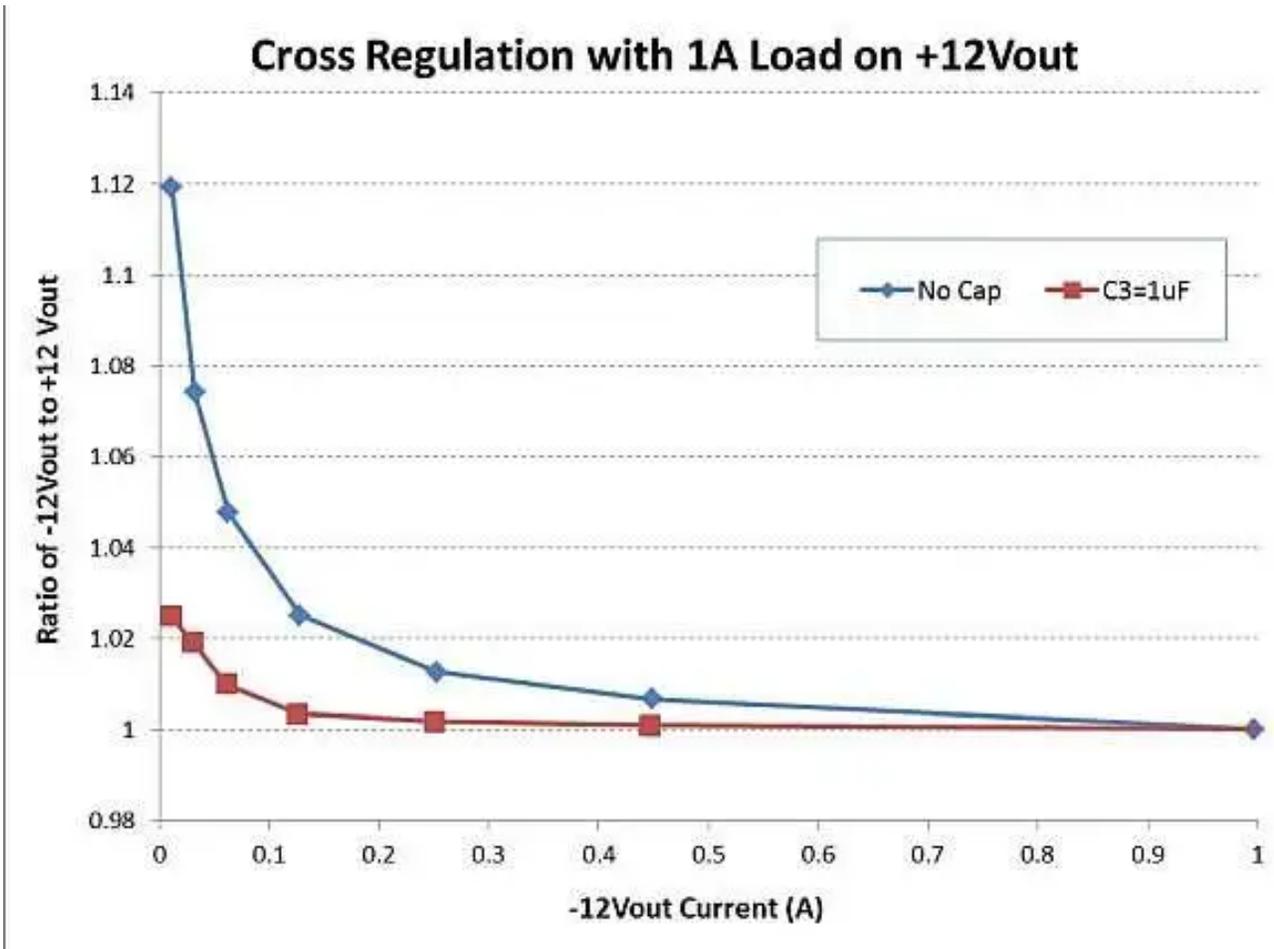


图 5. 仿真结果展示了添加单个电容器如何显著改善交叉调节功能。

总之，寄生漏电感会降低多输出电源的稳压性能。在具有同等幅值的双路正负输出的电源中，添加单个电容器可以大大改善稳压性能。

在具有不同输出电压幅值的多输出电源中，使用同步整流器可能是改善交叉调节的理想方法。

下次设计双路输出电源时，请考虑实施这种简单的技术来提高设计性能。

有关更多电源设计小贴士，请查看 TI 在 [Power House](#) 上的 [电源设计小贴士博客系列](#)。

#### 其他资源

- 观看视频“[拓扑教程：什么是反激式？](#)”
- 下载 TI 的 [Fly-Buck](#) 和 [反激式选择器工具](#)，帮助根据您的规格选择合适的隔离式直流/直流拓扑。

#### 相关文章

- [电源设计小贴士 78：同步整流器可改善反激式电源的交叉调节性能](#)
- [多输出电源的最小负载和交叉调节](#)
- [首次推出反激式电源](#)

之前在 [EDN.com](#) 上发布。

## 重要声明和免责声明

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。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

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司