

Application Note

如何在 TPS40210 和 TPS40211 上实现隔离型反激式反馈



Hangjie Wang, David Ji

摘要

反激式拓扑是常见的隔离式拓扑，可简化设计。可以通过几种方法来稳定反馈。如果不需要严格调节输出或光耦合器不可用，请使用初级侧调节。由于 TL431 和光耦合器均应用于隔离式反馈中，因此使用 TL431 器件是在次级侧实现隔离式反馈的一种方法。对于在次级侧中实现的稳定环路，通常需要对其进行补偿。从理论上讲，不需要使用所选的内部误差放大器。使用这种方法需要考虑更多因素。这些设计技巧对于系统的正常运行至关重要。

内容

1 简介.....	2
2 初级侧调节 (PSR).....	3
3 次级侧调节实现.....	4
3.1 次级侧调节实现的常见反馈.....	4
3.2 实现次级侧调节反馈.....	5
4 仿真结果.....	6
5 实际波德图比较.....	7
6 总结.....	8
7 参考资料.....	9

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

有两种方法可以稳定反馈。

本文总结了 **PSR** 和 **SSR** 的实现方法，并说明了如何考虑反馈补偿参数设置，以在初级侧调节中实现稳定的偏置 **IC** 和良好的瞬态响应。对于次级侧调节，有两种方法可以实现反馈。由于次级侧上有误差放大器和补偿器，因此无需使用初级侧 **IC** 内部误差放大器。使用主控制器件的内部误差放大器。确保内部误差放大器是运算放大器，而不是跨导放大器。考虑光耦合器输出连接并设置内部误差放大器的增益。这两种方法都可以实现稳定的环路。

通过在 **PMP40274** 电路板上执行仿真，对这两种方法进行了验证。

2 初级侧调节 (PSR)

对于 PSR 反激式调节，有三种执行输出电压检测的方法。第一种方法是检测初级侧开关节点。第二种方法是直接检测第三或辅助绕组电压。第三种方法是检测第三或辅助绕组整流器电压。前两种方法需要主要控制器器件支持。第三种方法是最常用的方法。图 2-1 显示了方框图。对于 PSR 控制，器件必须集成误差放大器。否则，就需要使用外部基准和放大器。确保遵循所需的参数。请参阅[使用传统升压控制器创建初级侧调节反激式转换器](#)，以了解更多信息。

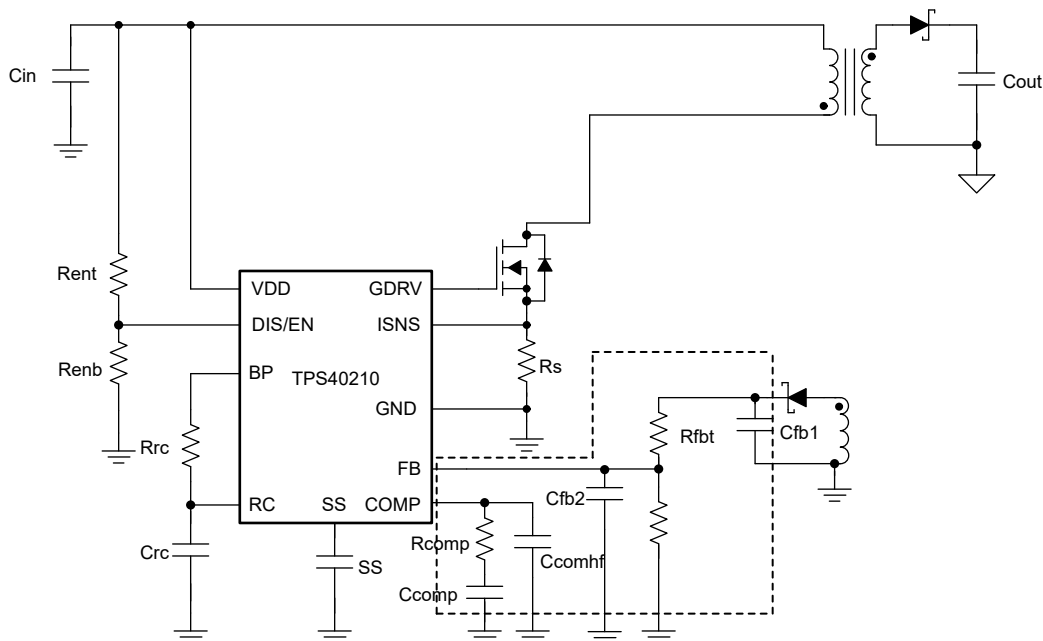


图 2-1. 初级侧调节方框图

3.2 实现次级侧调节反馈

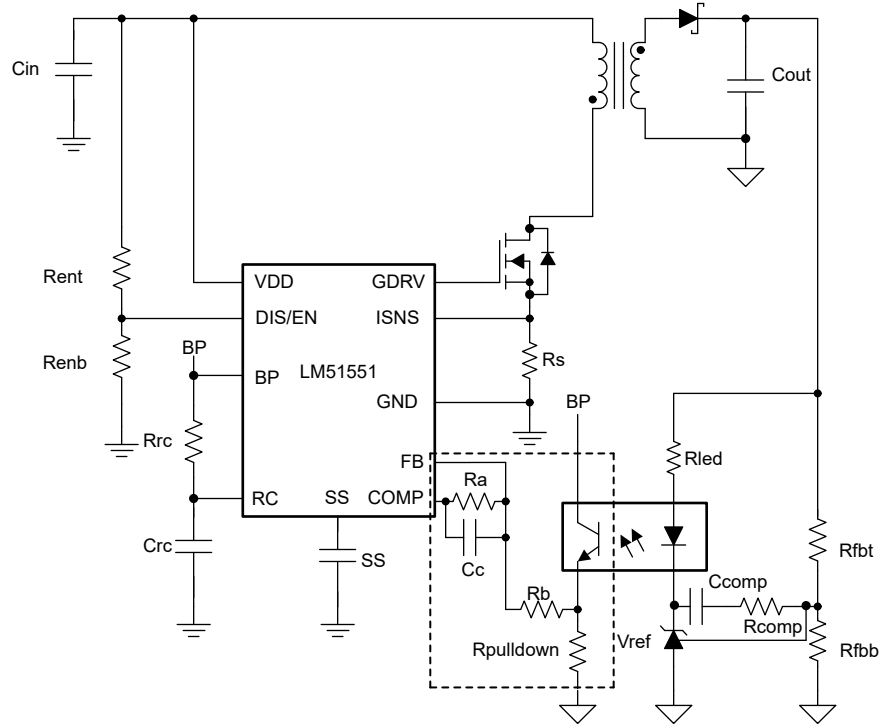


图 3-2. 使用初级放大器实现次级侧调节的反馈

在次级侧调节中，在具有基准电压的次级或分立式放大器上使用 TL431。可以连接的器件如 图 3-2 所示。在这种情况下，内部误差放大器的作用与放大器成反比，并且必须将光耦合器连接器下拉至接地电阻。方程式 2 显示了 COMP 到输出传递函数。

$$\frac{V_{comp}}{V_{out}} = \frac{R_a * R_{pullup}}{R_b * R_{led}} * \frac{CTR * [(1 + SComp * (R_{fb1} + R_{comp})) * (1 + SComp * R_{pullup})]}{S * R_{fb1} * Comp} \quad (2)$$

如 方程式 3 所示，主要增益是单位增益。传递函数必须与常用实现方法相同。如果没有要添加的极点或零点，则补偿必须相同。如果不满足 方程式 3 的要求，则补偿到输出传递函数增益与常用实现方法不同，但成比例。

$$R_{pullup} = \frac{R_a * R_{pullup}}{R_b * R_{led}} \quad (3)$$

如果使用这种方法，IC 内部误差放大器是传统的运算放大器。这种类型的运算放大器是简单的电压-电压放大器，需要在输出和输入之间提供本地反馈才能确保稳定性。请参阅 [揭秘对 DC/DC 转换器使用运算放大器和 OTA 的 II 类和 III 类补偿器](#)，以了解更多信息。在其他情况下，不建议使用这种方法，因为大多数运算跨导放大器 (OTA) 都只提供电流。此外，当作为比例函数实现时，难以调整 OTA 的增益。可以设置合适的增益，使 OTA 适应内部补偿范围。参数设置仅在特定范围内有效。与小数运算放大器相比，这种方法不具备灵活性。因此，受内部跨导放大器影响，该实现方案不适用于 LM3481 和 LM5155 系列。

4 仿真结果

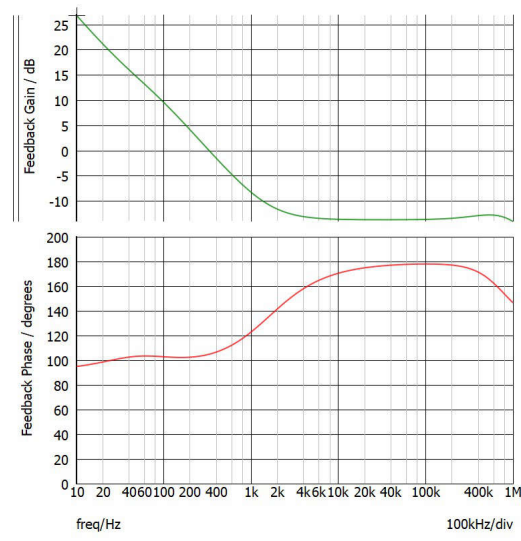


图 4-1. 不带放大器的补偿器

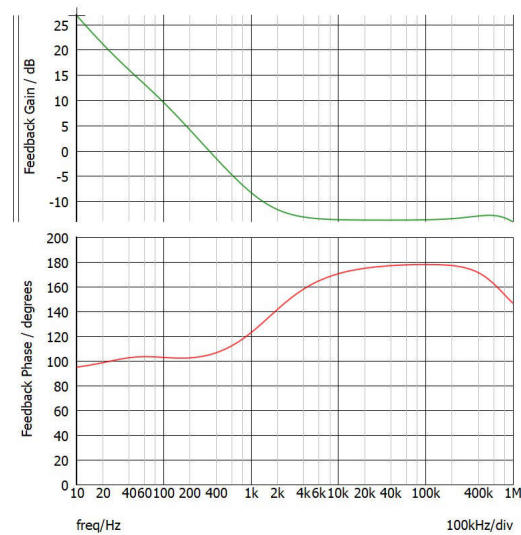


图 4-2. 带放大器的补偿器

不带放大器的补偿器和带放大器的补偿器是基于 PMP40274 电路板参数，分别在使用和不使用初级内部放大器的情况下得到的补偿器仿真结果。对于不带放大器的补偿器，Rpullup 电阻器的电阻为上拉至 BP 的 $4\text{k}\Omega$ 。Rpullup 电阻器和 BP 之间的交汇点连接到 COMP，并且 FB 会接地。满足 [方程式 3](#) 的条件时，补偿器波德图没有区别。

5 实际波德图比较

图 5-1 和 图 5-2 显示了基于 PMP40274 电路板参数，分别在使用和不使用初级内部放大器的情况下得到的实验结果。对于不带放大器的补偿器，变化与仿真模型相同。如环路波德图所示，在不带放大器的情况下，带宽为 7.6kHz，相位裕度为 58°，增益裕度为 -18dB。如环路波德图所示，在带放大器的情况下，带宽为 3.2kHz，相位裕度为 58°，增益裕度为 -17dB。如每幅波德图所示，在只有带宽略有不同的情况下，相位裕度和增益裕度都很不错。

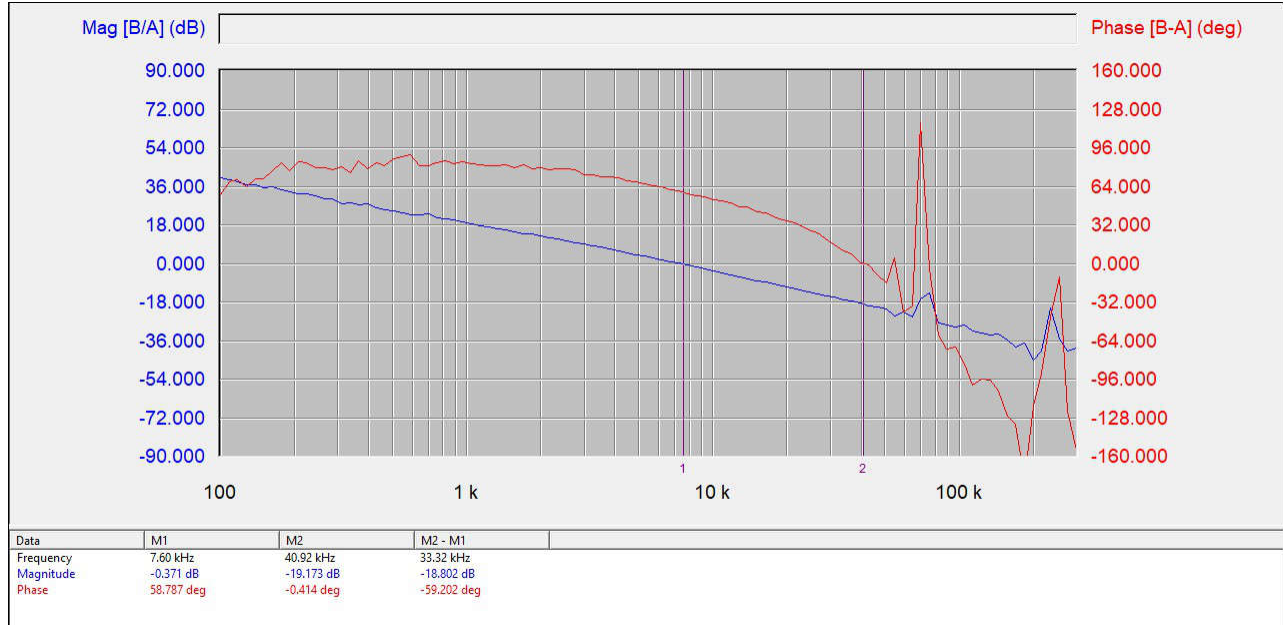


图 5-1. 环路波特图 (不带放大器)

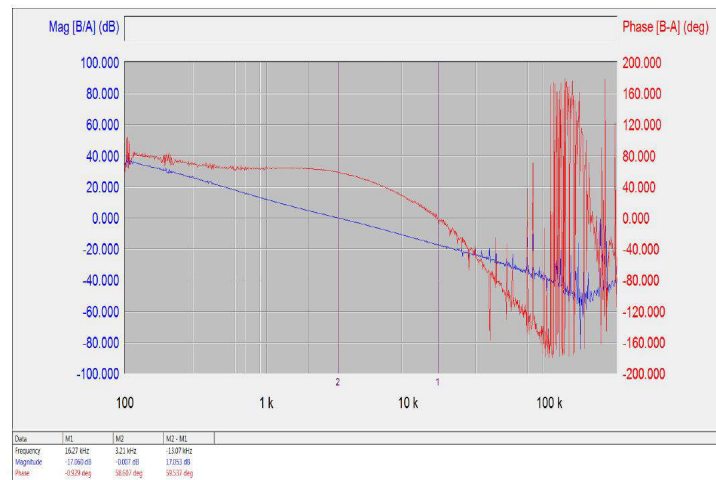


图 5-2. 环路波特图 (带放大器)

6 总结

实现反激式反馈并不复杂。不过，有一些最佳实践。考虑设置反馈滤波器，以在初级侧调节上实现稳定的偏置 IC 和良好的瞬态响应。在次级侧调节方面，有两种方法可以实现反馈。由于次级侧上有误差放大器和补偿器，因此无需使用初级侧 IC 内部误差放大器。另一种方法是使用初级控制 IC 的内部误差放大器。使用这种方法时，请确保内部误差放大器是运算放大器，而不是跨导放大器。考虑光耦合器输出连接并设置合适的内部误差放大器增益。这两种方法都可以实现稳定的环路。在 PMP40274 电路板上进行的仿真和实践实验可以验证这两种方法。

7 参考资料

- 德州仪器 (TI), [使用传统升压控制器创建初级侧调节反激式转换器](#), 研讨会。
- 德州仪器 (TI), [LM51551-Q1 2.2MHz 宽输入非同步升压、SEPIC、反激式控制器](#), 数据表。
- 德州仪器 (TI), [如何使用 LM5155 设计隔离型反激式转换器](#), 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [PMP40274 24Vin、5V6A 电源模块参考设计](#), 产品页面。
- 德州仪器 (TI), [TL431 可调节精密并联稳压器](#), 数据表。

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