



Dennis Oh

## 摘要

ATL43xLI 器件是一款三端可调节并联稳压器，由电压基准和内部误差放大器构成。根据外形不同，可选择用于多种应用，如可调节电压和电流基准、齐纳二极管替代产品、闭环配置 ACDC SMPS 中的次级侧调节，还可作为具有集成式基准的比较器、电压监控扩展应用于开环配置。此应用手册旨在提供适用于次级反馈环路应用的开发人员设计程序，并确定电路中的工作机制。TI 提供了 431 和 432 产品（431 的替代引脚排列）系列。本文档适用于 431 产品系列，包括 TL431LI、ATL431LI 和 TLV431。

## 内容

1 引言.....	2
1.1 作为 2 类放大器的 TL431.....	2
1.2 具有隔离功能的 TL431 解决方案.....	3
2 设计流程.....	4
2.1 光耦合器的设计注意事项.....	4
2.2 偏置电路的设计注意事项.....	6
2.3 原理图分析和波形.....	8
3 总结.....	10
4 参考文献.....	11

## 插图清单

图 1-1. 非隔离式电流模式控制转换器中的反馈环路.....	2
图 1-2. 作为 2 类放大器的 TL431.....	2
图 1-3. 采用 TL431、具有光耦合器隔离特性的反激式器件.....	3
图 1-4. TL431 与光耦合器搭配使用以实现隔离式反馈.....	3
图 2-1. UCC28740 的示例（低侧电流灌入）.....	4
图 2-2. UCC25640x 的示例（高侧电流拉出）.....	5
图 2-3. 偏置光耦合器的一个示例.....	6
图 2-4. 反馈中的静态电流路径.....	7
图 2-5. ATL431LI LLC 原理图设计评论.....	8
图 2-6. 无负载、轻负载和重负载.....	9

## 表格清单

表 2-1. 并联稳压器 $V_{out}$ 调节操作.....	9
----------------------------------	---

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

### 1.1 作为 2 类放大器的 TL431

图 1-1 是一款通用型电流模式控制转换器。这种非隔离式转换器在反馈控制环路中集成了 EA (误差放大器) 和  $V_{ref}$ 。2 类放大器网络可在环路中提供出色的补偿性能。

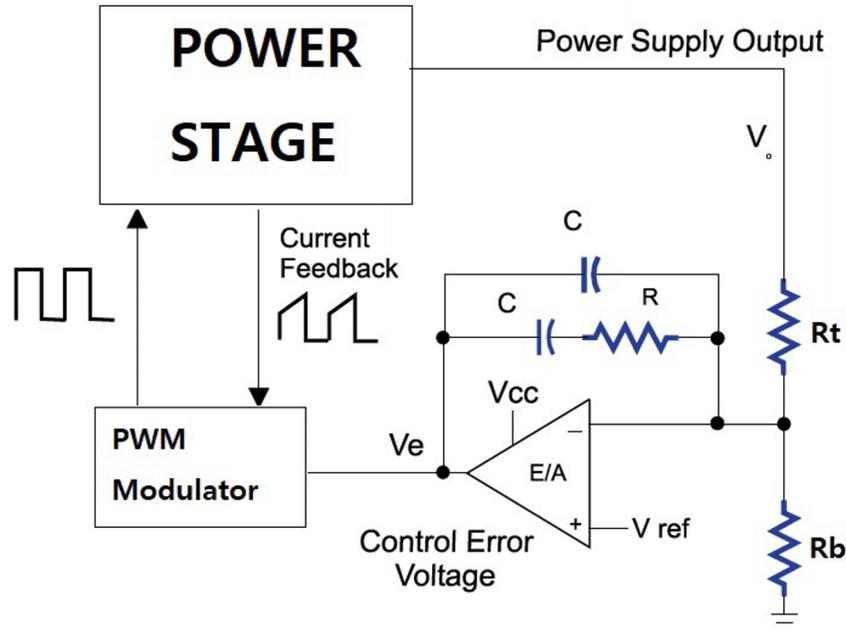


图 1-1. 非隔离式电流模式控制转换器中的反馈环路

图 1-2 显示了在 TL431 补偿功能的基础上，如何将它用作标准 EA。

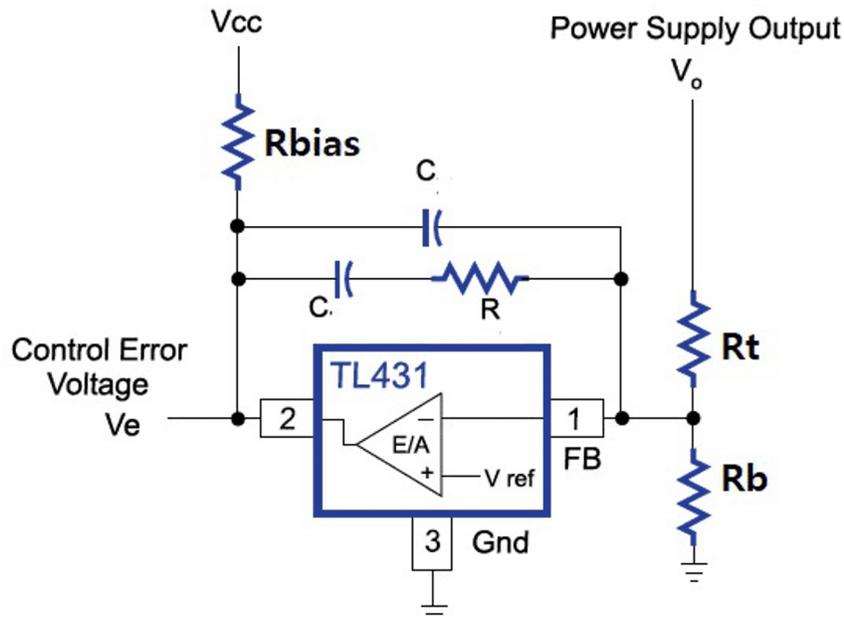


图 1-2. 作为 2 类放大器的 TL431

应选择可满足最低阴极电流要求的上拉电阻 ( $R_{bias}$ ) 值，这是为了能在所有电路条件下向 TL431 提供足够的偏置电流。

## 1.2 具有隔离功能的 TL431 解决方案

TL431 广泛应用于隔离式电源应用中，它的设计优势包括降低反馈环路的成本，在权衡标准误差放大器性能的情况下占用很小的布板空间并且基准精确。

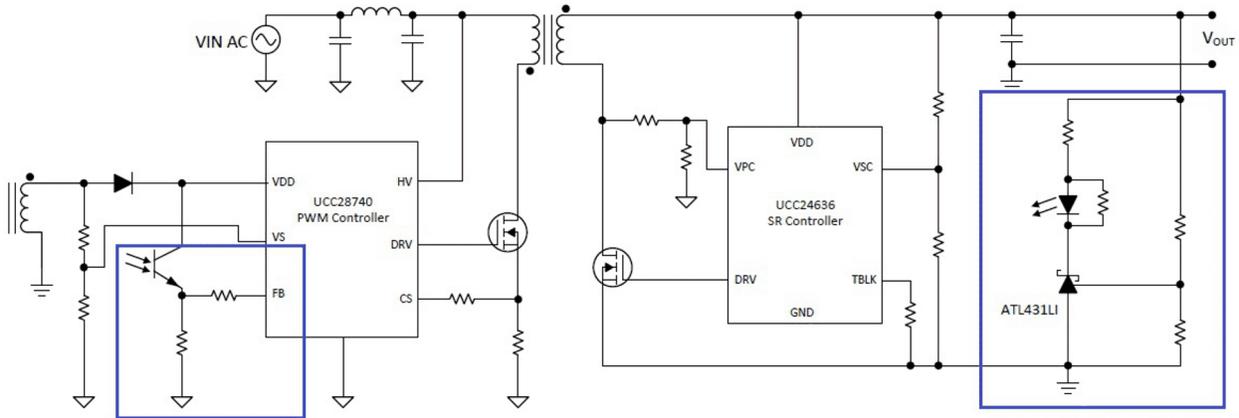


图 1-3. 采用 TL431、具有光耦合器隔离特性的反激式器件

图 1-3 提供了更多详细信息，现在我们知道 TL431 是通过转换器的输出供电的。通过  $R_{bias}$  和光耦合器二极管流到 TL431 阴极的电流可驱动电路的增益和运行。图 1-4 显示了典型 TL431 如何与光耦合器搭配使用以实现隔离式反馈控制。

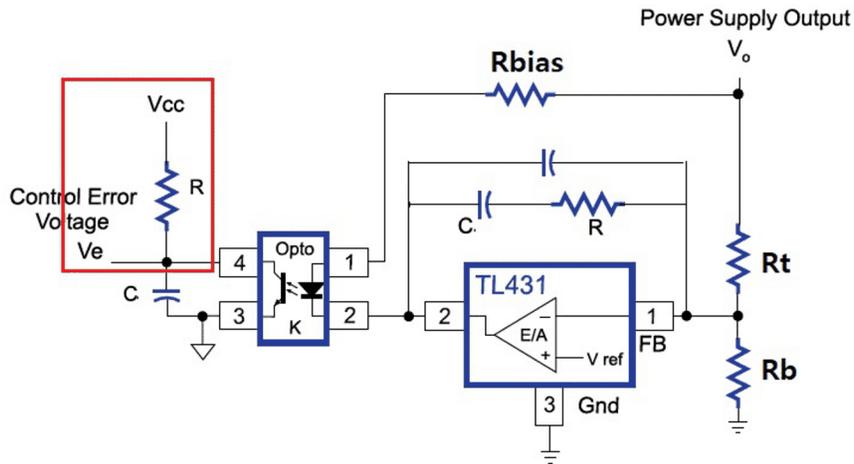


图 1-4. TL431 与光耦合器搭配使用以实现隔离式反馈

如上所述，初级侧和次级侧偏置电流可控制电路的增益和频率响应。然而，分析起来会非常复杂，甚至最新的控制器也建立了初级侧偏置，包括内部电流源和电阻。因此，我们有多种选项来遵循次级侧反馈偏置电路的设计流程。



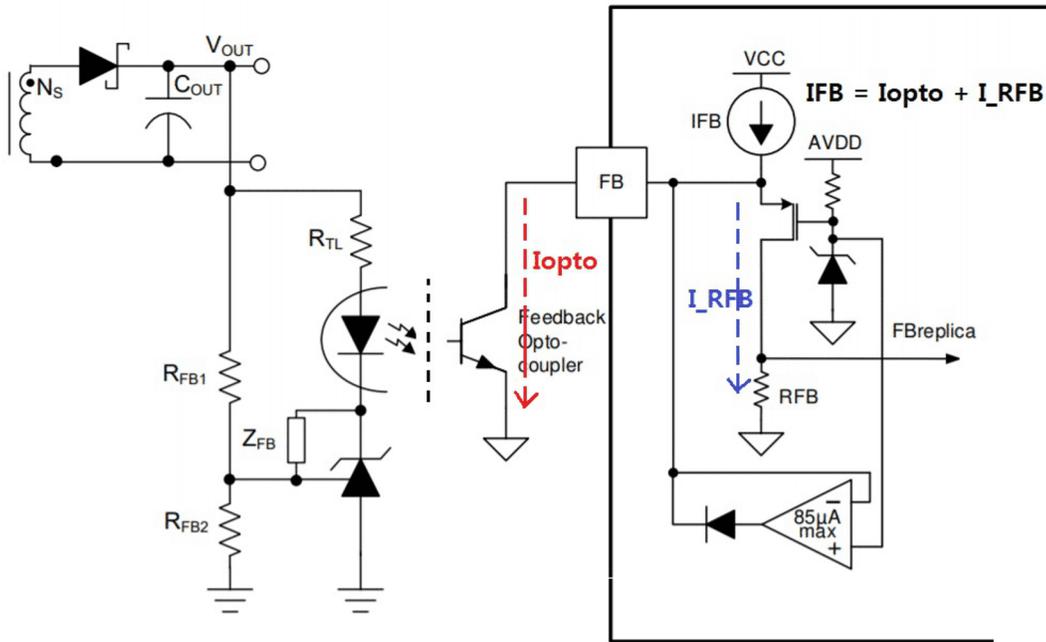


图 2-2. UCC25640x 的示例 (高侧电流拉出)

**第 2 步：**高而窄的变化 CTR 至关重要。

既然我们关注线性运行，严格的 CTR 将产生较小的变化。而且，为了提高设计精度，设计人员应考虑环境温度和生命周期。每家供应商都通过数据表中的曲线来提供相关信息，例如相对 CTR 与温度、工作时间的关系。

**第 3 步：**用户应了解如何偏置光耦合器。

可通过 4 种不同的配置来偏置光耦合器。如第 1 步所示，我们可以根据控制器的要求来选择方式，并应能够分析电路。我们不会进行深入研究，但请注意，KVL 分析往往基于这样的事实，光晶体管的基极是断开的 (电气隔离)，因此集电极电流和发射极电流相等。在确定 VDD 后，我们将设置合适的二极管电流 (IF)，并可以计算相应的集电极电流 (Ic)。

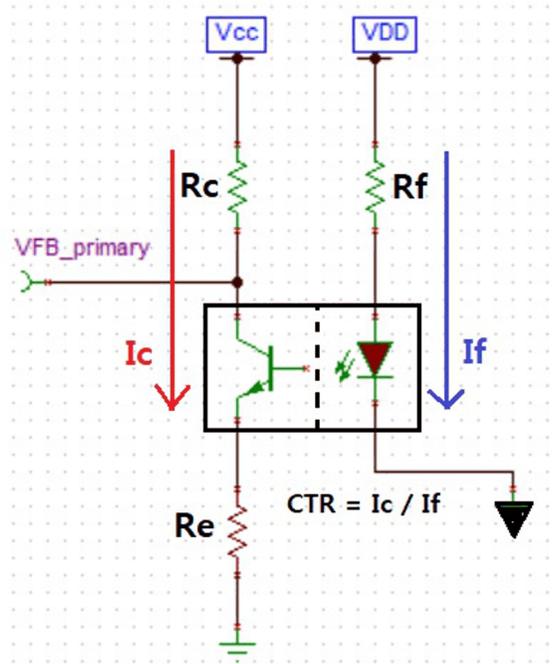


图 2-3. 偏置光耦合器的一个示例

## 2.2 偏置电路的设计注意事项

我们现在来了解如何配置反馈环路，以及如何对流入环路的电流进行分类。足够的偏置电流可以使系统稳定，但系统还需要满足标准能量要求，例如美国的 DoE VI 级和欧盟的 CoC 2 级要求。这意味着，设计人员应考虑总待机功耗的限制。

在设计之前，我们再假定一个前提，系统精度与变化因素是固定的。我们可以发现，电气参数存在误差范围，这会造成系统中的  $V_{out}$  误差、电流消耗误差等。关于如何解决这些问题，请参阅 [使用改进的 TL431LI 进行设计](#) 应用手册。另外，可以通过降低阴极电流 ( $I_{KA}$ ) 对高级产品 ATL43xLI 进行偏置，从而提供高于 TL43x 的带宽。相关详细优势，请参阅 [使用反激式转换器中的 ATL431LI 进行设计](#) 应用手册。

**第 1 步：**检查指定功耗预算下两个路径的待机  $I_q$  消耗。

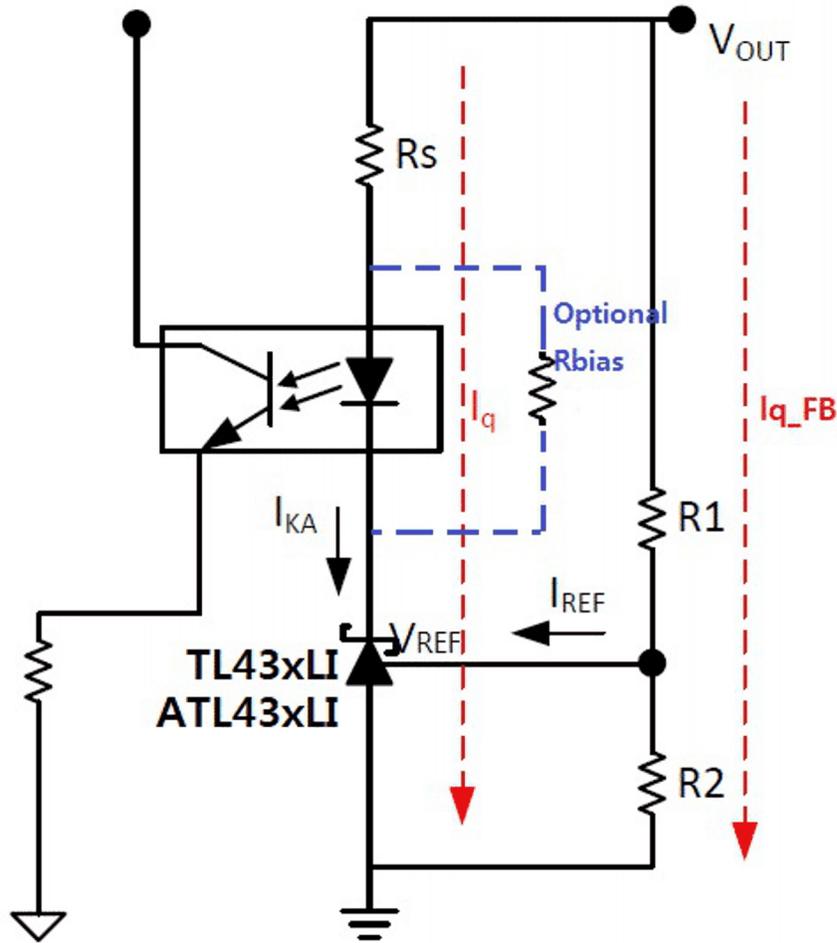


图 2-4. 反馈中的静态电流路径

第 2 步：计算所需的  $R_s$ 。 $I_{KA}$  偏置电流受  $R_s$  值的限制。

$$-R_s \approx (V_{OUT} - V_{OPTNL} - 2V) / I_{OPTNL}$$

$$\begin{cases} V_{OPTNL} = \text{Optocoupler voltage at No Load condition} \\ I_{OPTNL} = \text{Optocoupler current at No Load condition} \end{cases} \quad (1)$$

如需进一步说明，系统设计人员应首先设置合适的  $I_{OPTNL}$ 。我们将其设计为在最坏的情况下接近  $I_{KA}$  (最小值) \* 1.5，并包含裕度。然后，我们可以从所选光耦合器的数据表中找到所需的  $V_{OPTNL}$ 。通常，该值约为 1V。最后，-2V 的系数来自  $V_{out}$  的过压条件。换言之，如果我们假定发生故障， $V_{REF}$  远远超过 2.5V (内部基准)，那么  $V_{ka}$  将会变为低电平，降至大约 2V 的最低值。这可以补偿最坏的情况，并且设计人员能够在计算中纳入裕度。使用 [TL431 进行欠压和过压检测](#) 应用手册讨论了  $V_{ka}$  低电平。

第 3 步：设置电阻反馈网络

$R_1$ 、 $R_2$  用于设置输出电压，而它可以形成持续泄漏路径。了解此节点上允许的电流消耗非常重要。

$$-R_1 = (V_{OUT} - V_{REF}) / I_{q\_FB} \quad (2)$$

$$-R_2 = V_{REF} / (I_{q\_FB} - I_{REF}) \quad (3)$$

我们可以提高 R1-R2 的 值之比。然而，系统设计人员应考虑更改后的抗噪性能，而且，补偿网络将在配置中参考 R1。

请注意，我们不会讨论补偿网络的设置稳定性。相关详细信息，请参阅 [使用 TL431 针对 UCC28600 进行补偿设计](#) 应用手册。

### 2.3 原理图分析和波形

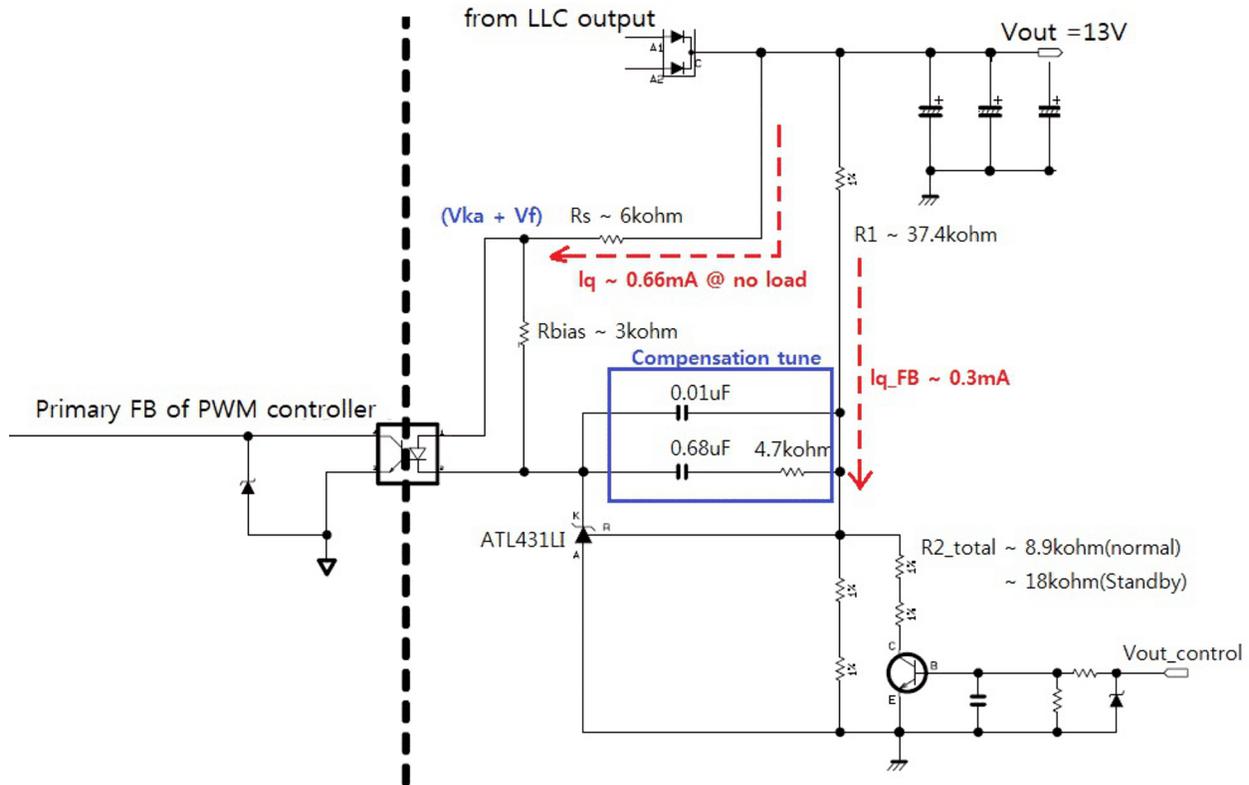


图 2-5. ATL431LI LLC 原理图设计评论

图 2-5 显示了一个良好的起始值以及反馈环路中消耗的总功耗。我们看到，两个静态电流路径中的电流约为 1mA。设计人员会希望起始功耗小于 15mW。然而，根据 ATL43xLI 的性能优势，我们仍然有很大的空间来降低功耗。可选的 Rbias 还有助于最大限度地降低功耗。如果系统处于待机模式，Vout 电平将会降低，功耗因而将进一步降低。让我们通过测得的波形来定义工作行为。

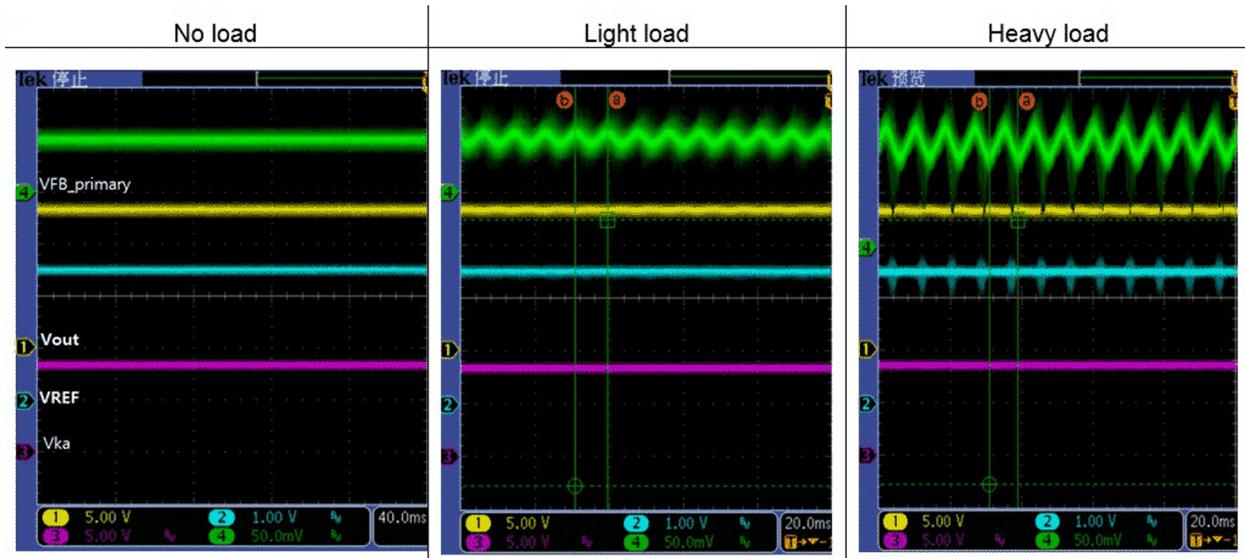


图 2-6. 无负载、轻负载和重负载

表 2-1 可帮助设计人员轻松了解系统工作原理。同时，用户需参阅并联稳压器的方框图。应注意的一点是，反射 VFB\_primary 完全取决于 PWM 控制器的处理方式。V<sub>ka</sub> 是由包括补偿网络在内的反馈环路决定的误差放大器信号，它还会根据光耦合器的 CTR 和初级侧配置发生小幅变化。

表 2-1. 并联稳压器 Vout 调节操作

瞬态	NPN I_base	NPN I_sink	Vka ( 阴极 )	I <sub>ka</sub>	I_opto	PWM 占空比	
REF > VREF	增大	增大	降压	增大	增大	减小	直至 VREF > VREF
REF < VREF	减小	减小	上升	减小	减小	增加	直至 REF > VREF

### 3 总结

我们讨论了隔离式转换器系统中所用并联稳压器的分步设计流程。并且我们能够检查其作为误差放大器的基本配置，并通过实际工作原理图了解相关工作原理。系统设计人员应了解系统的能量调节要求。此应用手册旨在帮助设计人员找到偏置电路的方式并控制  $V_{out}$  调节情况，尤其适用于不熟悉隔离式反馈控制的设计人员。

## 4 参考文献

- [Using the TL431 in a Power Supply](#), Dr. Ray Ridley, Ridley Engineering.
- 德州仪器 (TI), [使用反激式转换器中的 ATL431LI 进行设计](#) 应用报告。
- 德州仪器 (TI), [使用 TL431 针对 UCC28600 进行补偿设计](#) 应用报告。
- 德州仪器 (TI), [在可调节并联稳压器上设置并联电压](#) 应用报告。
- [Electronicsbeliever.com](#) 设计分析文章。
- 德州仪器 (TI), [使用改进的 TL431LI 进行设计](#) 应用报告。
- 德州仪器 (TI), [使用 TL431 进行欠压和过压检测](#) 应用报告。
- 德州仪器 (TI), [具有超低可闻噪声和待机功耗的 UCC25640x LLC 谐振控制器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [适用于汽车且具有集成式高压启动和光耦合器反馈功能的 UCC28740-Q1 超低待机功耗反激式控制器](#) 数据表。

## 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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司