

非常见问题第214期： 您是否知道隔离式DC-DC 转换无需使用光耦合器？

Thong Anthony Huynh, 技术团队主要成员

问题：

无光耦解决方案如何帮助应对隔离式DC-DC设计挑战？



答案：

幸好，有一种全新的无光耦反激式DC-DC转换器解决方案，可省去光耦合器和相关反馈电路，并且无需使用第三变压器绕组。新解决方案还带来了新的输出电压精度基准。

简介

出于安全原因或为了确保复杂系统正常工作，我们有时需要使用隔离式DC-DC解决方案。传统的隔离解决方案会使用光耦合

器和附加电路，或者复杂的变压器设计，以形成跨越隔离栅的反馈环路，从而调节输出电压。各种附加元件使设计变得复杂而庞大。光耦合器会随着时间的推移而退化，降低系统的可靠性。此外，终端设备的外形尺寸越来越小，给电源所留的空间很有限，增加了散热管理的难题。在开始新的隔离式DC-DC设计时，系统工程师必须解决所有这些难题。系统工程师需要一种体积小、成本低、高度可靠且易于设计的解决方案。现在，您可以使用无光耦解决方案简化设计并缩小解决方案尺寸。

在什么情况下使用隔离式DC-DC转换器？为什么？

各行各业（比如工厂自动化、楼宇自动化、电动汽车、汽车电子、航空电子、医疗设备、商业设备等）中的许多电力系统都会采用隔离式DC-DC转换器，原因有三：

安全：防止浪涌电流损坏设备并防止人员受到主电源的伤害。图1显示了一个主电源与次级隔离的电力系统，其中操作人员可能会接触到次级。如果没有适当的安全隔离措施，发生雷击时，极高的浪涌电压可能会通过设备冲击操作人员和地面。其后果几乎是致命的。此处的隔离栅可以将危险的浪涌能量引回主接地，防止其流向操作人员。

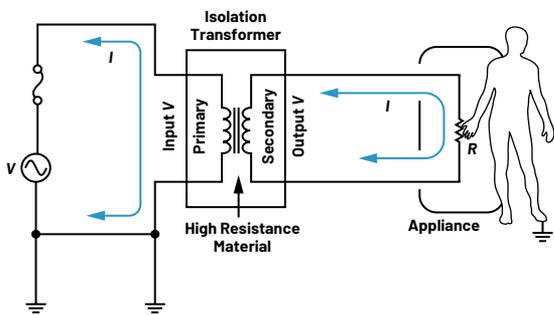


图1. 安全隔离。

避免形成接地环路：在大型或复杂系统中，不同区域会存在接地电位差。此处通过隔离来避免形成破坏性的接地环路，并将数字噪声与精密模拟系统隔离。

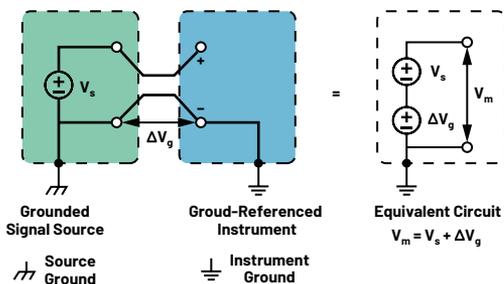


图2. 通过隔离避免形成接地环路。

电平转换：有时，许多电源轨混合组成的系统会使用隔离式DC-DC转换来生成多个隔离正向和/或负向输出电压。

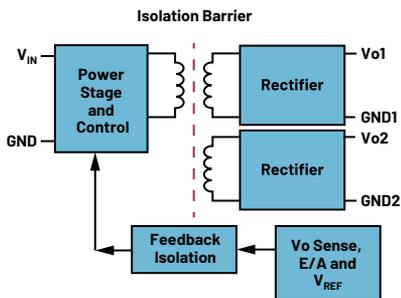


图3. 电平转换隔离。

隔离式DC-DC转换器基本原理

图4显示了一个传统的隔离式DC-DC转换器。该解决方案使用光耦合器、误差放大器和基准电压源来构成一个跨越隔离栅的反馈环路。在此实现方案中，输出电压通过误差放大器进行检测，然后将其与基准电压进行比较。信息通过光耦合器传送到隔离栅另一侧的主面，主面的控制电路对功率级进行调制以调节输出电压。

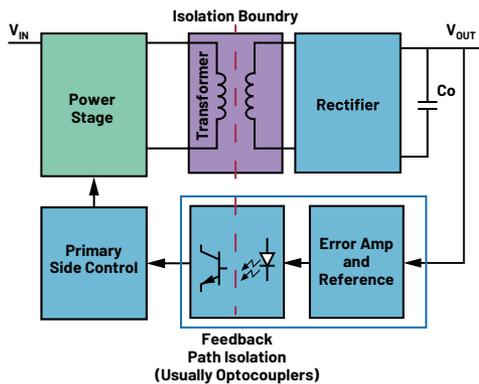


图4. 使用光耦合器和相关反馈电路的传统隔离式DC-DC转换器。

这种解决方案一直都能很好地发挥其作用，但随着设备尺寸逐渐缩小，导致其几乎没有容身之地。光耦合器、误差放大器和基准电压电路共有12个元件，大大增加了总设计元件数，并占用很大的电路板空间（图5）。大家自然希望能省去这种电路。

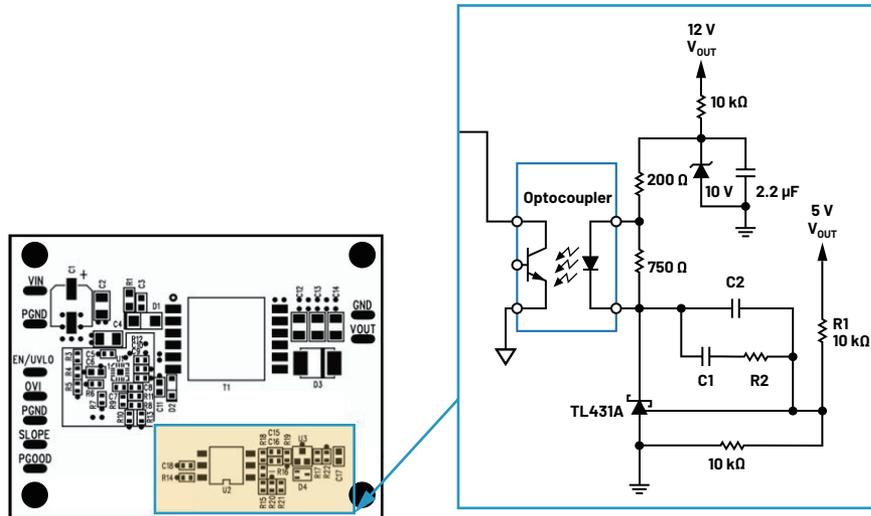


图5. 使用光耦合器、误差放大器和基准电压源的传统反馈电路。

光耦合器还面临另一个大问题：其性能会随温度变化，并随着时间推移而下降，从而导致某些应用出现可靠性问题。图6显示了典型光耦合器的电流传输比(CTR)，在-60°C至+120°C温度范围内其变化率达270%¹。除此之外，此CTR还会随着时间的推移下降30%至40%^{2,3,4}。

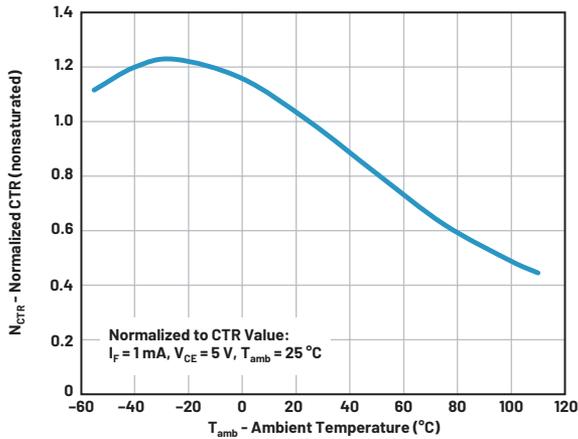


图6. 光耦合器集电极电流与环境温度的关系。¹

省去光耦合器

主面控制拓扑：有一种省去光耦合器的方式是采用主面控制法。在此方案中，电源隔离变压器上的第三绕组用于在“关断”周期内间接测量输出电压。图7显示了这种电路。反射电压 V_W 与输出电压成正比，公式如下：

$$V_W = (V_O + V_F) \times \frac{N_a}{N_s} \quad (1)$$

其中 V_O 是输出电压， V_F 是输出整流二极管压降， N_a 是第三绕组匝数， N_s 是次级绕组匝数。

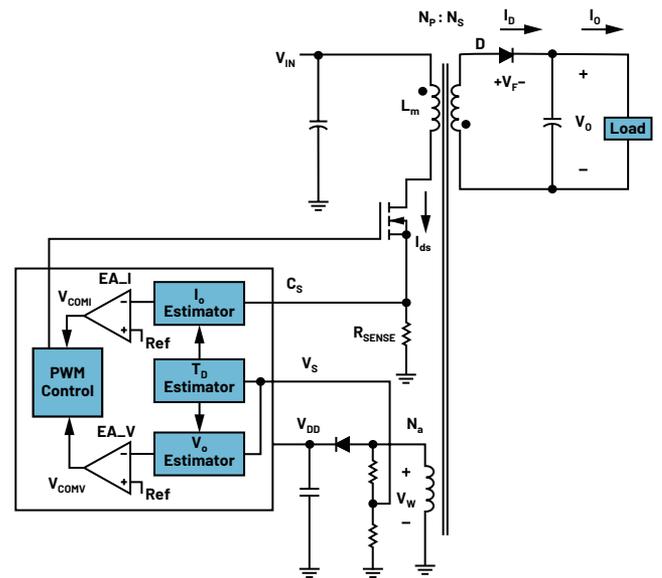


图7. 使用第三绕组的主面控制。

虽然这种方法可以有效地省去光耦合器，但却产生了一系列新问题：

- 添加第三绕组会使变压器的设计和构造更复杂，增加更多成本。
- 反射电压与输出整流二极管电压 V_F 相关。此外， V_F 会随负载和温度而变化。这会导致检测的输出电压出现误差。
- V_W 上的漏感振铃会进一步增加检测输出电压的读数误差。

这种主面控制法提供的输出电压调节性能不佳，因此在许多应用中并不实用，迫使设计人员使用后置稳压器，这会增加更多成本，并增大总体解决方案的尺寸。

无光耦反激式拓扑：无光耦反激式DC-DC转换器是主面控制法的一种变化形式。这种方式通过直接检测主面电压避免了上述问题(a)，所以无需使用电源变压器中的第三绕组。这一改进显著降低了变压器设计和构造的复杂性，并且简化了PCB布局。图8描述了这种拓扑。

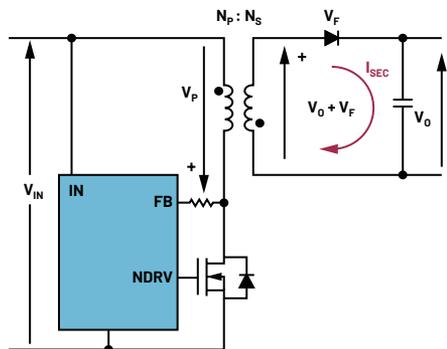


图8. 无光耦反激式电路。

反射电压 V_P 与输出电压成正比，公式如下：

$$V_P = (V_O + V_F) \times \frac{N_P}{N_S} \quad (2)$$

其中 V_O 是输出电压， V_F 是输出整流二极管压降， N_P 是初级绕组匝数， N_S 是次级绕组匝数。

无光耦反激式拓扑结构并不新鲜，而它仍然受困于上述其他两个问题(b)和(c)。此例中(c)对应的不是 V_w ，而是 V_P 上的漏感振铃。对于这种无光耦反激式电路，输出电压调节性能不佳仍然是严峻的技术挑战。

所幸，近来的电路设计发展和专有技术有效地改善了这一瓶颈问题。我们来仔细看看！

克服输出电压调节不佳的问题

图9显示了MAX17690，它提供一种无光耦反激隔离式DC-DC转换器解决方案，输出电压调节精度达±5%。

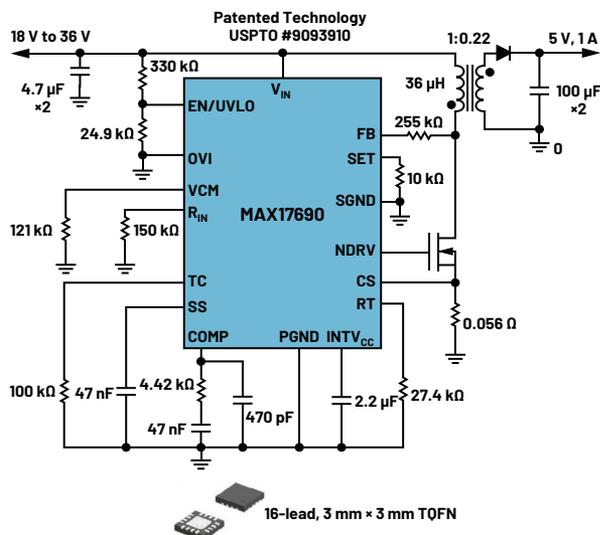


图9. 无光耦反激式电路实现新的输出电压调节基准。

为了消除检测输出电压的读数误差，MAX17690在次级电流 I_{SEC} 较低时对反射电压进行采样。此技术可减缓由输出负载引起的二极管压降变化。这款IC还具有补偿二极管电压及其随温度变化的功能。另外还采用先进技术来滤除漏感振铃。总之，这款IC为无光耦反激式拓扑带来了新的输出电压调节基准。

图10显示的变体MAX17691还集成了功率FET和电流检测元件，因此仅需极少外部元件即可构建完整电路。它以一种非常简单的形式提供了高性能的隔离式DC-DC转换器解决方案。

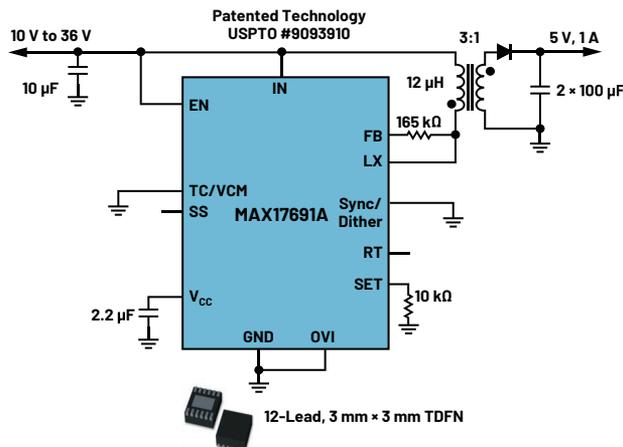


图10. 高度集成的无光耦反激式解决方案。

MAX17690和MAX17691都能实现很好的输出电压调节。图11显示了它们在不同温度、线路和负载条件下的性能。

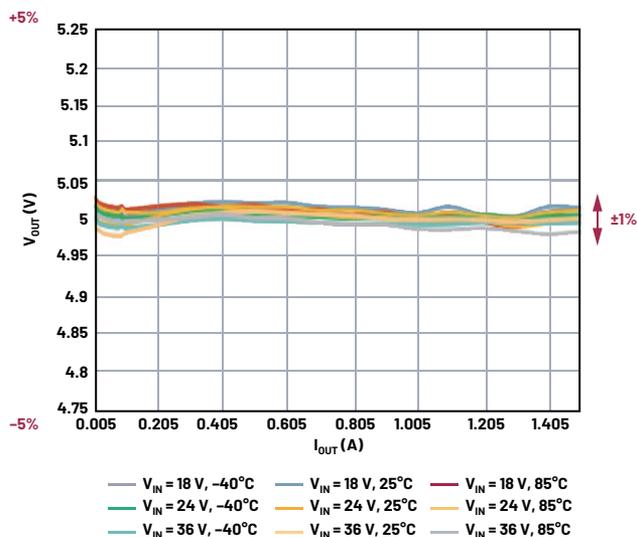


图11. MAX17690/MAX17691输出电压调节。新基准！

结论

设备和电路板空间越来越小，导致使用光耦合器构建反馈环路的传统大尺寸隔离式DC-DC转换器逐渐失去其实用价值。此外还有另一道阻碍，光耦合器的性能会随温度变化并随着时间的推移而下降。无光耦反激式拓扑更简单，需要的外部元件更少，自然是更好的选择。设计技术的创新改进显著提高了输出电压调节性能，使无光耦反激式DC-DC转换器具有实用性，成为隔离电源应用的正确选择。



作者简介

Anthony T. Huynh（又名Thong Anthony Huynh）是Maxim Integrated（现为ADI公司的一部分）的应用工程技术团队的主要成员。他在设计和定义隔离式与非隔离式开关电源及电源管理产品方面拥有20多年的经验。他定义了100多种电源管理产品，包括DC-DC转换器、热插拔控制器、以太网供电以及世界各大制造商采用的各种系统保护IC。

参考资料

- ¹ “[Optocoupler, Phototransistor Output, Low Input Current, SSOP-4, Half-Pitch, Mini-Flat Package](#)（光耦合器、光电晶体管输出、低输入电流、SSOP-4、半间距、小型扁平封装）。” Vishay Intertechnology, Inc. 2023年1月。
 - ² “[Vishay光耦合器应用笔记，文档编号：80059](#)。” Vishay Intertechnology, Inc. 2008年1月。
 - ³ “[Basic Characteristics and Application Circuit Design of Transistor Couplers](#)（晶体管耦合器的基本特性和应用电路设计）。” Toshiba Electronic Devices and Storage Corporation, 2018年。
- †T. Bajenescio. “[CTR Degradation and Ageing Problem of Optocouplers](#)（光耦合器的CTR退化和老化问题）。” 第四届固态和IC技术国际会议论文集，1995年10月。

