

# 数字电源中的隔离—原因及方式

作者：段峻 (Jason Duan)  
Analog Devices, Inc.

## 简介

随着互联网和通信基础设施的蓬勃发展，数字控制技术在电信、网络和计算机的电源系统中越来越受欢迎，因为这类技术具备灵活性、器件数量减少、先进的控制算法、系统通信、对外部噪声和参数变化不太敏感等极具吸引力的优势。数字电源广泛用于高端服务器、存储、电信砖式模块等经常会有隔离需求的应用。

隔离在数字电源中的挑战是在紧凑的面积下如何快速准确地传输数字信号或模拟信号通过隔离边界。<sup>1</sup>然而，传统光耦的解决方案有带宽比较低，电流传输比(CTR)会随温度和时间发生大幅变化等问题。而变压器的解决方案有体积庞大、磁饱和等问题。这些问题限制了光耦合器或变压器在某些高可靠性应用、紧凑型应用以及长寿命应用中的使用。本文讨论利用ADI公司*iCoupler*®产品的数字隔离技术，来解决在数字电源设计中遇到的这些问题。

## 需要隔离的原因

在设计电源时，遵守安全标准对于保护操作人员及其他人员免受电击和有害能量的侵害至关重要。隔离是满足安全标准要求的重要方法。许多全球机构（比如欧洲的VDE和IEC以及美国的UL）规定了不同输入和输出电压（稳态和瞬态）水平的隔离要求。例如，在UL60950中介绍了五类绝缘：

- ▶ **功能绝缘**：仅在设备正常运行时需要的绝缘。
- ▶ **基本绝缘**：提供基本电击防护的绝缘。
- ▶ **补充绝缘**：基本绝缘外的独立绝缘，用于在基本绝缘发生故障的情况下降低电击风险。
- ▶ **双重绝缘**：包括基本绝缘和补充绝缘的一种绝缘。

- ▶ **加强绝缘**：一种单一绝缘系统，提供一定程度的电击防护，在本标准规定的条件下相当于双重绝缘。

## 原边控制与副边控制对比

根据控制器的位置，隔离电源控制方式分为原边控制和副边控制两种。表1对比了原边控制和副边控制的功能。在下表中，UVP和OVP分别代表欠压保护和过压保护。

表1. 原边控制与副边控制的功能对比

功能	原边控制	副边控制
上电	需要直接或简单的直流稳压电源为控制器供电	需要辅助隔离电源为控制器供电
栅极驱动	原边开关的栅极驱动器无需隔离；同步整流器栅极驱动器需要隔离	同步整流器的栅极驱动器无需隔离；原边开关的栅极驱动器需要隔离
输入UVP/OVP	无需隔离	需要隔离
输出UVP/OVP	需要隔离	无需隔离
控制环路	需要隔离式控制环路来调节输出电压	无需隔离式控制环路
系统通信	需要隔离	无需隔离
远程开/关	无需隔离	需要隔离

## 副边控制

ADP1051是ADI公司先进的数字电源控制器，具有PMBus™接口，面向中间总线转换器等高功率密度和高效率应用。<sup>2</sup>ADP1051基于灵活的状态机架构，提供众多颇具吸引力的特性，比如反向电流保护、预偏置启动、恒流模式、可调输出电压压摆率、自

适应死区时间控制以及伏秒平衡，与模拟解决方案相比，减少了大量的外部元件。一般而言，ADP1051更常用于副边控制，因为它与系统通信非常方便。因此，同步整流器的PWM信号以及 $V_{OUT}$ 检测等信号无需跨越隔离边界与系统进行通信。不过在这种情况下，需要辅助电源在启动阶段从原边向副边控制器ADP1051提供初始电力。此外，来自ADP1051的PWM信号需要跨越隔离边界。下文讨论了三种解决方案，即栅极驱动变压器、数字隔离器和隔离式栅极驱动器。

## 栅极驱动变压器

图1显示了采用栅极驱动变压器解决方案的数字电源的功能框图。在此解决方案中，副边控制器ADP1051向ADP3654发送PWM信号，ADP3654是双通道4 A MOSFET驱动器。ADP3654随后驱动一个栅极驱动变压器。栅极驱动变压器的功能是将驱动信号从副边传输到原边并驱动原边MOSFET。辅助隔离电源在启动阶段为ADP1051供电。

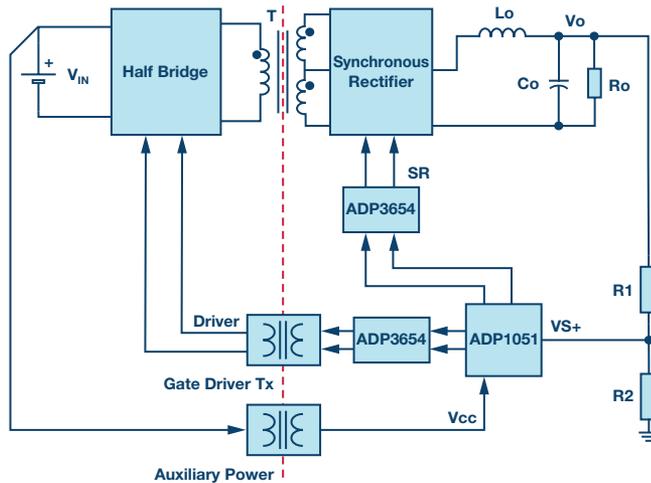


图1 采用ADP3654解决方案驱动栅极驱动变压器。

栅极驱动变压器解决方案的优势包括延时较少，成本更低。但需要更仔细的栅极驱动变压器设计，因为变压器每过一段时间就需要复位，否则将会饱和。对于半桥拓扑的栅极驱动变压器设计，经常采用双端变压器，如图2所示。

图2所示为由ADP3654驱动的双端栅极驱动变压器的电路。ADP3654的 $V_{OA}$ 输出和 $V_{OB}$ 输出通过隔直电容 $C_{DC}$ 连接到栅极驱动变压器的原边。考虑到所有工作条件下所需的最大伏秒数，为半桥选择最大50%的占空比。选择磁芯后，可以使用下方的公式1计算初级绕组NP的数量：

$$N_P = \frac{V_{dd} \times 0.5}{\Delta B \times A_e \times f_s} \quad (1)$$

其中， $V_{DD}$ 是初级绕组两端的电压， $f_s$ 是开关频率， $\Delta B$ 是半个开关周期内的峰峰磁通密度变化， $A_e$ 是磁芯的等效横截面积。当 $V_{OA}$ 驱动为高电平且 $V_{OB}$ 驱动为低电平时，Q1开启，Q2关闭。当 $V_{OB}$ 驱动为高电平且 $V_{OA}$ 驱动为低电平时，Q2开启，Q1关闭。需要注意的是，该栅极驱动变压器适用于对称半桥，不适用于非对称半桥或其他有源钳位拓扑。

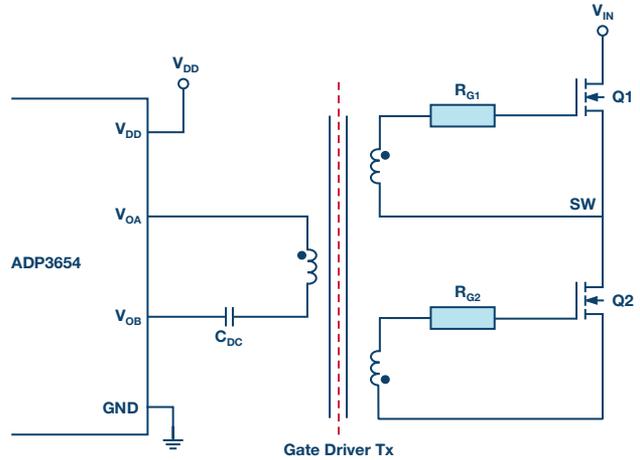


图2 双端栅极驱动变压器。

## 数字隔离器

图3显示了实施数字隔离器解决方案的数字电源的功能框图。双通道数字隔离器ADuM3210用作数字隔离，可将来自副边控制器ADP1051的PWM信号传输到原边半桥驱动器。

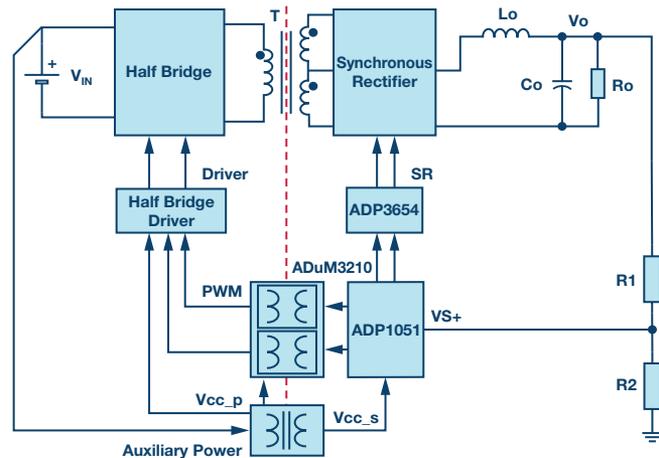


图3 数字隔离器解决方案。

相比复杂的栅极驱动变压器设计，数字隔离器解决方案尺寸更小，可靠性更高，使用更简单。此解决方案没有占空比限制，也没有饱和问题。由于节省了50%以上的PCB空间，因此可实现高功率密度设计。

## 隔离式栅极驱动器

为了进一步简化设计，集成了电气隔离和强大栅极驱动功能的4A隔离式半桥栅极驱动器ADuM7223提供独立的隔离式高端和低端输出。图4显示了隔离式栅极驱动器解决方案。

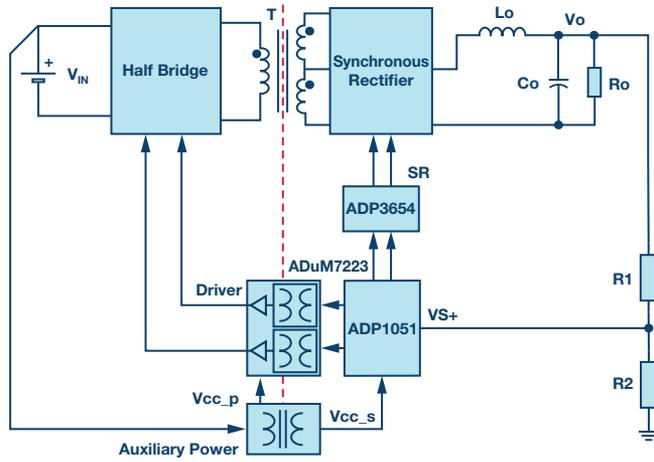


图4. 隔离式栅极驱动器解决方案。

在图5中，将ADuM7223隔离式栅极驱动器配置为自举栅极驱动器来驱动半桥。D<sub>BST</sub>是外部自举二极管，C<sub>BST</sub>是外部自举电容。在低端MOSFET Q2开启的每个周期内，V<sub>DD</sub>会通过自举二极管为自举电容充电。为最大限度降低功耗，需要使用正向压降低且反向恢复时间短的超快二极管。

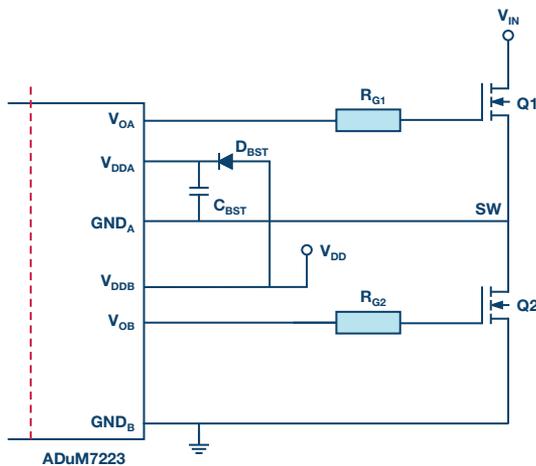


图5. 隔离式栅极驱动器配置为自举栅极驱动器。

## 原边控制

由于原边控制无需辅助隔离电源，并且具有简单的控制架构，因此在某些低成本应用中，原边控制更为普遍。根据隔离控制路径，下文论述了三种解决方案：线性光耦合器、普通光耦合器（带标准放大器）以及隔离式放大器。

## 线性光耦合器

隔离数字电源中的输出电压通常需要快速准确的隔离反馈。光耦合器经常用于将来自副边的模拟信号发送到原边，但其CTR会随着温度而发生极大变化，且性能也会随着时间推移而下降。图6显示了TCET1100的归一化CTR与环境温度特性。在该图中，CTR的变化率在-25°C到+75°C的范围内会超过30%。

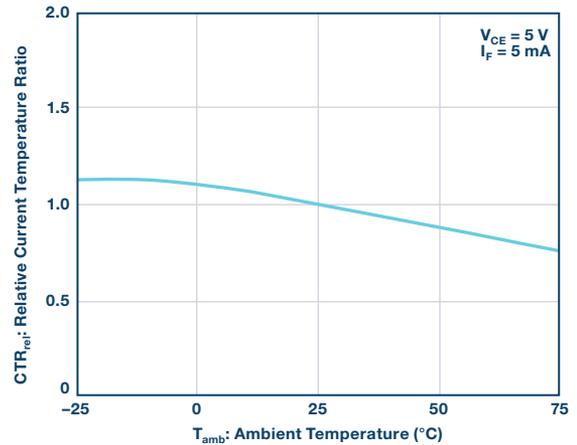


图6. TECT1100的归一化CTR与温度。

如果在反馈环路中直接使用普通光耦合器来传输输出电压时，很难保证输出电压精度。而普通光耦合器与误差放大器配合使用，一般是传输补偿信号而不是输出电压信号。而ADP1051在芯片内部已实现了数字环路补偿，因此不再需要补偿信号。一种解决方案是使用线性光耦合器来线性传输输出电压，如图7所示。但线性光耦合器成本高昂，这意味着用户必须支付额外费用。

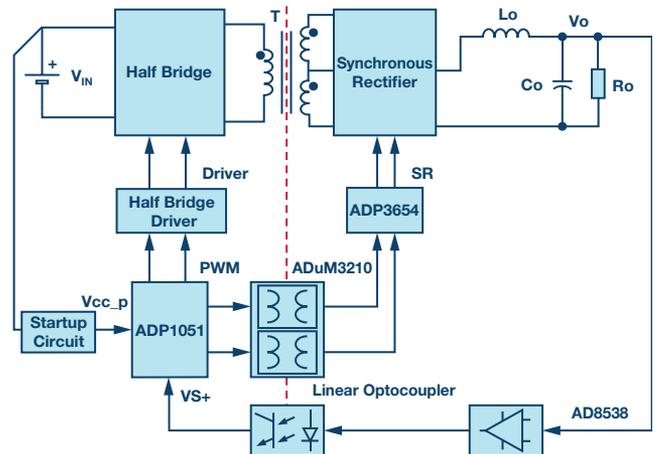


图7. 线性光耦合器解决方案。

## 普通光耦合器（带标准放大器）

另外可使用一个普通光耦合器和一个标准放大器来实现原边控制电路，如图8所示。在本例中，可实现高输出电压精度，不会因为光耦合器的CTR温度变化而发生大幅变化。测量结果表明，输出电压变化范围为±1%，当CTR范围为100%-200%。

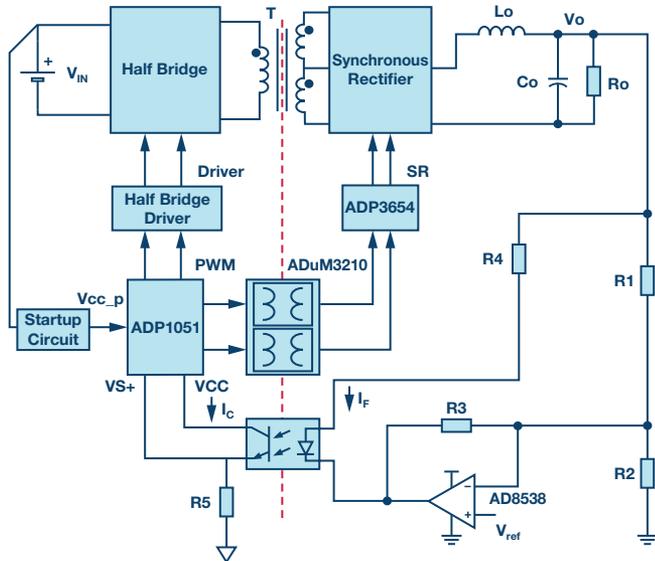


图8. 光耦合器（带放大器）解决方案。

CTR公式如下

$$CTR = \frac{I_C}{I_F} \times 100\% \quad (2)$$

当CTR随温度而变化时，放大器的输出将补偿此变化以保持输出电压的高精度。需要注意的是，放大器的稳定工作点和摆幅范围应设计得足以满足CTR随温度而变化的要求，以防放大器的输出饱和。

## 隔离式放大器

第三种解决方案是隔离式放大器，比如图9所示的ADuM3190。ADuM3190是一种隔离式放大器，与光耦合器相比，具有高带宽和高精度的特性，因此非常适合具有原边控制器的线性反馈电源。与常用的光耦合器和分流稳压器解决方案相比，该解决方案在瞬态响应、功率密度和稳定性方面均有所提高。只要设计得当，ADuM3190可实现±1%的输出电压精度。

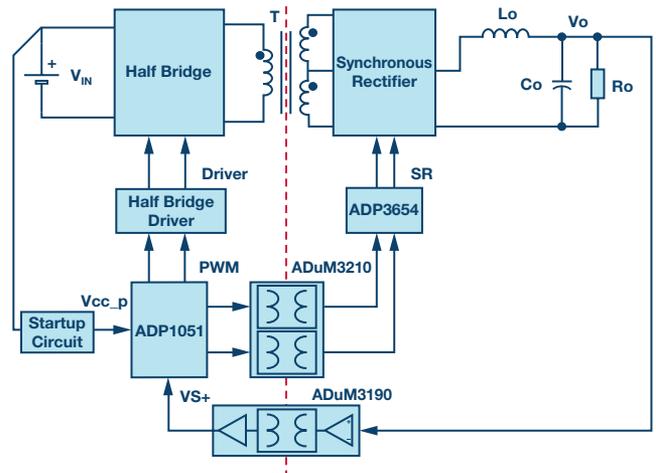


图9. 隔离式放大器解决方案。

## 结语

如今由于电信、网络及计算机电力系统的安全性、高可靠性、高功率密度以及智能管理的要求日益提高，隔离技术将发挥越来越重要的作用。与传统的光耦合器和变压器解决方案相比，ADI公司的iCoupler ADuM3210、ADuM7223和ADuM3190结合数字电源控制器ADP1051可提供高可靠性、高带宽和高功率密度的解决方案。

## 参考资料

- 1 Baoping Chen. “微变压器隔离有利于数字控制。” *Power Electronics Technology*, 2008年10月。
- 2 ADP1051数据手册。ADI公司，2014年。

## 作者简介

段峻(Jason Duan)于2000年和2003年分别获得西安交通大学电气工程专业的学士学位和硕士学位。他于2007年加入了ADI公司位于上海的电源管理部。2013年，他从上海办事处调动至圣何塞办事处，担任资深应用工程师。他目前专注于电源电子领域，包括开发先进的数字电源控制器、超低噪声线性稳压器和多通道PMU产品。联系方式：[jason.duan@analog.com](mailto:jason.duan@analog.com)。

## 在线支持社区

访问ADI在线支持社区，与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

请访问 [ezchina.analog.com](http://ezchina.analog.com)



全球总部  
One Technology Way  
P.O. Box 9106, Norwood, MA  
02062-9106 U.S.A.  
Tel: (1 781) 329 4700  
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部  
上海市浦东新区张江高科技园区  
祖冲之路2290号展想广场5楼  
邮编: 201203  
电话: (86 21) 2320 8000  
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司  
深圳市福田区  
益田路与福华三路交汇处  
深圳国际商会中心  
4205-4210室  
邮编: 518048  
电话: (86 755) 8202 3200  
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司  
北京市海淀区西小口路66号  
中关村东升科技园  
B-6号楼A座一层  
邮编: 100191  
电话: (86 10) 5987 1000  
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司  
湖北省武汉市东湖高新区  
珞瑜路889号光谷国际广场  
写字楼B座2403-2405室  
邮编: 430073  
电话: (86 27) 8715 9968  
传真: (86 27) 8715 9931

©2017 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices. TA16046sc-0-7/17

[analog.com/cn](http://analog.com/cn)

