

作者:美国模拟器件公司 Baoxing Chen

引言

出于安全和数据完整性考虑,通常需要在电路元件之间进行隔离。例如,隔离可以保护系统端敏感的电路元件和人界面免受现场端存在的危险电压的损害,现场端驻留比较鲁棒性的元件,例如传感器和执行机构。隔离还可以消除影响数据采集精度的共模噪声和接地环路问题干扰。虽然可以采用传统的光耦合器或 ADI 公司的 iCoupler 隔离器完成通过隔离阻障的数据传送,但是主要的挑战和共同难题是找到一种将电源从非隔离的系统端传送到被隔离的现场端的方法。本文讨论了通过采用 ADI 公司最新的 iCoupler 产品——集成的电源隔离和数据信号隔离新方法解决这个难题的技术背景。

迄今为止,经过隔离阻障传送电源一般需要两种方法,一种方法是分立的 DC/DC 变换器,其尺寸相当大、成本高而且隔离度不够;另一种方法是定制的分立方法,它不仅体积大而且难于设计和连接。这两种方法已是唯一可行的替代方法,即使是在只需要低隔离电源(例如数据采集模块)的应用场合。

ADI 公司最近推出了一种完整而且完全集成的隔离解决方案——采用微型变压器经过隔离阻障传送信号和电源,解决了上述问题。我们将 iCoupler 技术的扩展称为 isoPower 技术,是又一种创新的解决方案。在一颗单芯片内提供信号和电源隔离功能,无需体积大、成本高、难设计的隔离电源,并且提供了高达 5 kV 足够的隔离度。它可以显著降低隔离系统的总成本、印制电路板(PCB)面积和设计时间。一种采用 isoPower 技术的双通道 iCoupler 器件如图 1 所示,其面积缩小 90%,成本降低 70%。

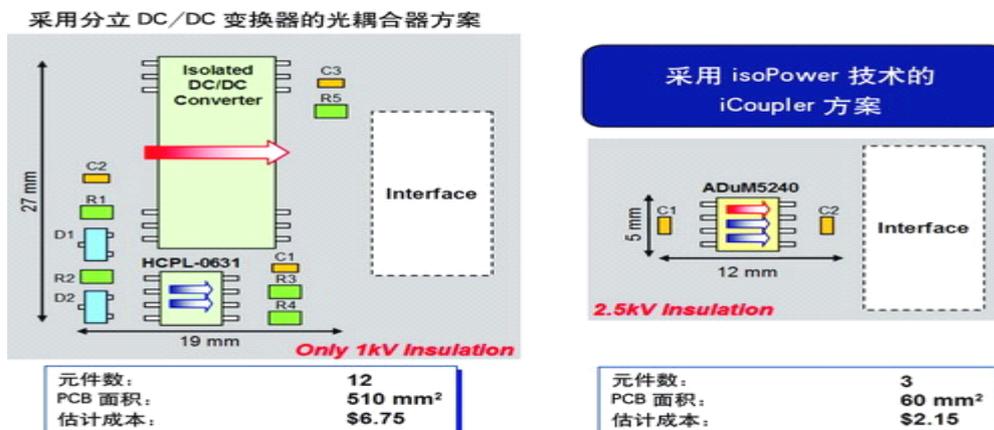


图 1 传统方法与 isoPower 方法的成本和尺寸比较

采用 isoPower 技术的 iCoupler 隔离器件

集成的 DC/DC 变换器包括采用的变压器开关、整流二极管和最重要的变压器。通过采用达 300 MHz 的高开关频率减小变压器尺寸以便能够将其尽可能整合在一个完整的隔离解决方案中。这与磁芯变压器中采用的方法正好相反,在磁芯变压器中磁芯的渗透率在高频的时候开始降低,从而导致明显的磁芯损耗,降低效率。此外,磁芯还可能会折衷变压器的额定隔离电压。然而,无磁芯的 iCoupler 变压器可以在更高的频率下工作而且实现起来要简单得多。

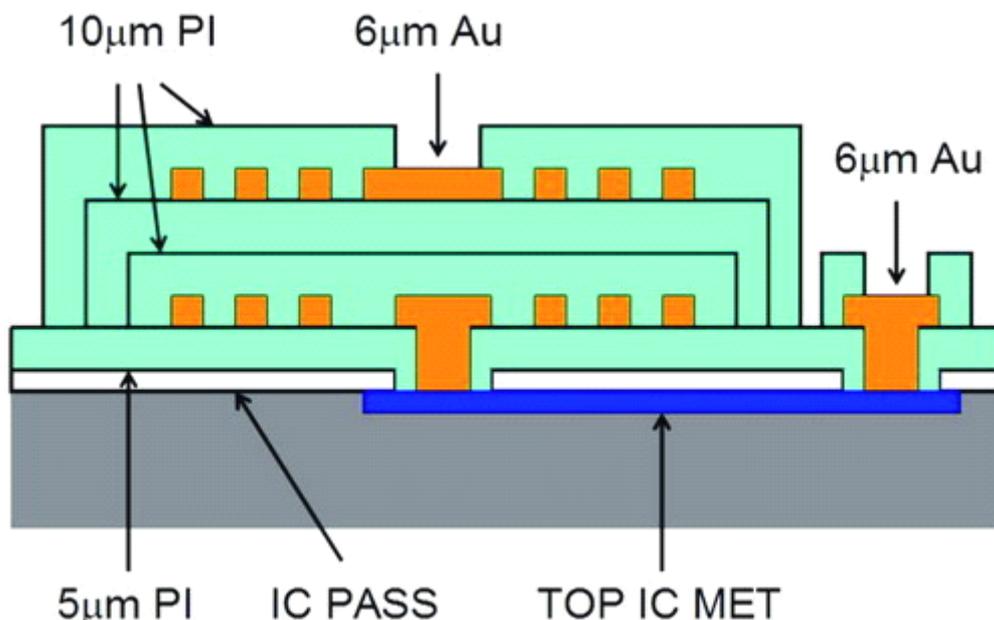


图 2 iCoupler 变压器线圈的截面图

iCoupler 器件中所采用的微型变压器构造在 CMOS 衬底的上方。图 2 示出了隔离变压器结构的截面图,图 3 示出了一张带有电源和信号变压器的管芯照片。通过为初级和次级线圈镀了一层 6mm 厚的镀金,将变压器串联电阻值减到了最小。初级和次级端之间的 20mm 厚的聚酰亚胺层提供耐压高达 5 kV 的高压 (HV) 隔离。底部线圈下面增加一层 5mm 厚的聚酰亚胺有助于减小衬底电容和衬底损耗。利用可提供的 IC 下面的金属层精心设计带图案的接地屏蔽层可以进一步降低衬底损耗。对于具有大的磁耦合系数的层叠式变压器来说,邻近效应和涡流是不需要太多考虑的问题。线圈的设计可以通过优化线圈参数来完成,例如线圈的匝数、

印制线宽度和印制线间距。顶部线圈在 300 MHz 高频时的品质因数(Q)可能高达 20, 底部线圈可高达 15。微型变压器结构的高 Q 值使得高效的电源传送成为可能。

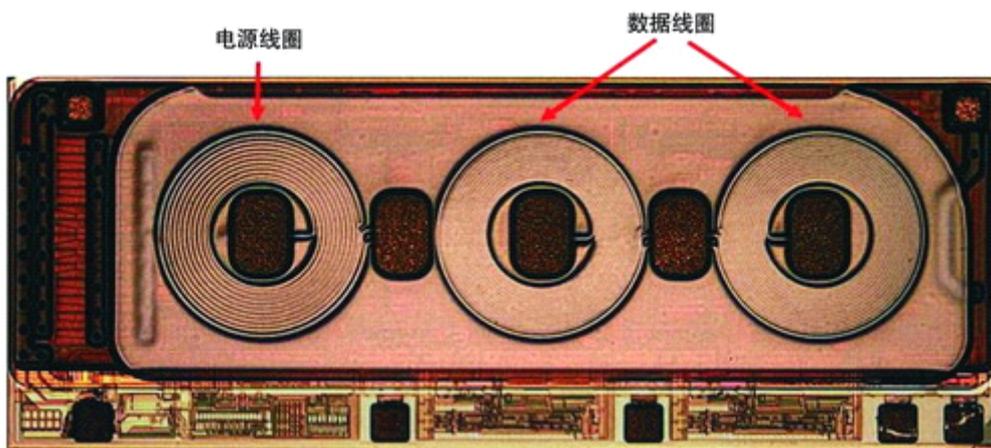


图 3 变压器管芯照片示出了电源变压器线圈和两个数据变压器线圈

数字信号的传送是通过发送大约 1 ns 宽的短脉冲到变压器另一端来实现的, 两个连续的短脉冲表示一个上升沿, 单个短脉冲表示下降沿。图 4 示出了信号传送的框图。次级端有一不可重复触发的单稳态电路产生检测脉冲。如果检测到两个脉冲, 输出就被置为高电平。相反的, 如果检测到单个脉冲, 输出就置为低电平。采用一个输入滤波器有助于提高噪声抗扰能力。如果 1ms 左右没有检测到信号边缘, 发送刷新脉冲信号送给变压器来保证直流的正确性。如果输入为高电平, 就产生两个连续的短脉冲作为刷新脉冲, 如果输入为低电平, 就产生单个短脉冲刷新。为了补充驱动器端的刷新电路, 在接收器端采用了一个监视定时器来保证在没有检测到刷新脉冲时输出处于一种故障安全状态。

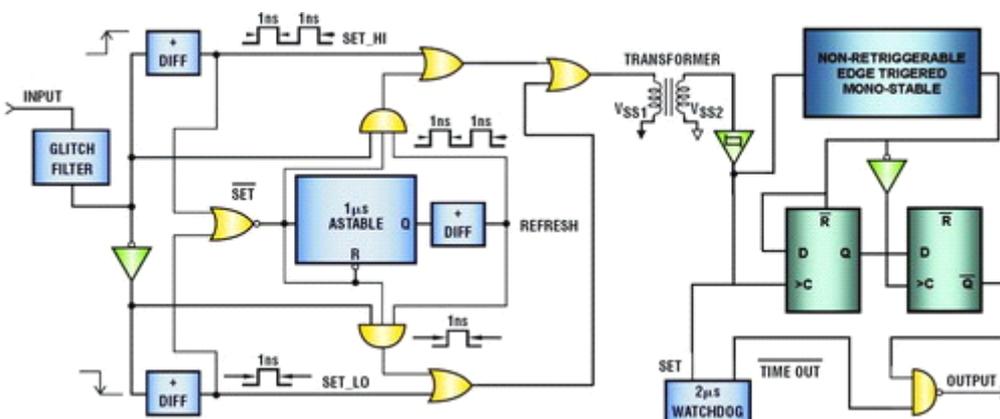


图 4 数字信号传送框图

采用类似的微型变压器传送电源。因为它们L/R比很小, 所以变压器需要开关在很高的

频率才能防止电流饱和并达到高效率。图 5 示出了采用交叉耦合配置和变压器形成持续振荡实现的四个补充 CMOS 开关的实例。优化储能元件的尺寸以便使能量传递效率最高。采用集成的肖特基二极管用作整流器件。对于 300 MHz 整流信号, 这些二极管的导通和恢复速度足够快。需要选择二极管使它们在整流期间工作在肖特基区域。次级端的线性稳压器用于保证当输出负载或输入电源变化时保持稳定的输出电压。对许多低功耗应用来说, 效率是次要关心的问题。为了提高效率并保证能量的调节, 可以增加一个可选的反馈信号变压器。反馈信号可以导通或关断 LC 储能元件, 而不直接控制变压器开关。这种方法从根本上将能量调节与能量转换分开, 从而支持高效的电源传送并保证稳定的电压。

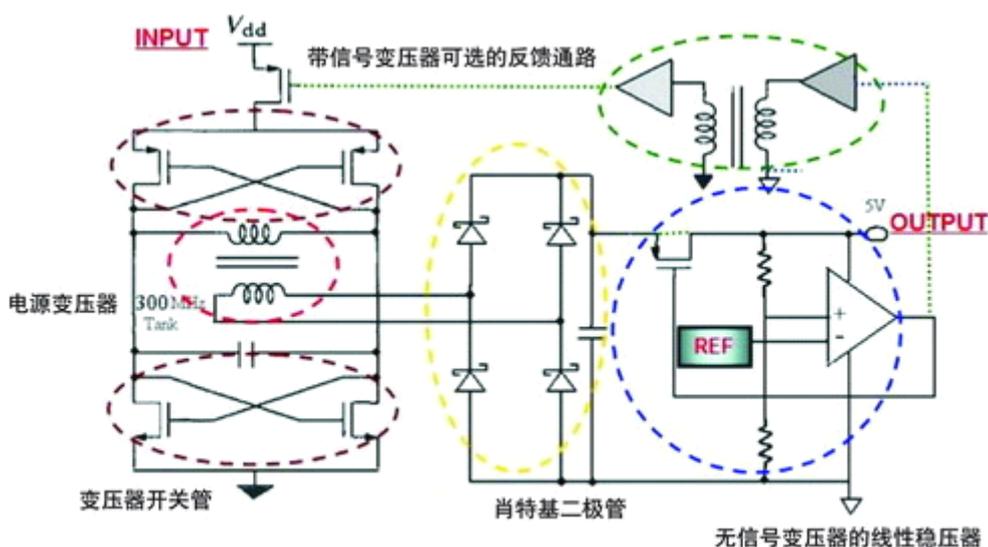


图 5 电源传送框图

关于开关变压器一个普遍关心的问题就是电磁干扰问题, 尤其是对于开关速率为 300 MHz 的变压器。采用远场的近似值,

$$P = 160\pi^6 I^2 S (r_n/l)^4 ; n = 1, 2, \dots, N$$

其中 P = 总辐射功率, I = 线圈环路电流

300 MHz 的波长 λ 约为 1 m, 半径在 0.5 mm 范围内的变压器还是一个具有小 r/l 的极弱的天线。据估计, 即使器件工作在 300 MHz, 环路电流为 350mA 的情况下, 总的辐射功率仍然不到 500pW。近场辐射随着与变压器距离的增大而迅速降低。片内变压器之间只有在距离很小时才会出现紧耦合, 在我们的例子中是 20mm。

应用实例：次级控制电源 ADuM5242

随着新型电源向低电源电压、快速动态响应和电源与负载之间有更多系统交互的方向发展,次级控制体系结构得到了发展。采用次级控制取代初级控制有两个主要困难。第一个困难是需要高性能的数字隔离取代模拟隔离。通常采用一种低成本的模拟光耦合器在初级端控制将模拟反馈误差信号从系统的次级端发送到初级端,同时可能需要一个高成本或大体积的数字耦合器为采用次级控制的系统发送 PWM 信号经过隔离屏障。

第二个困难是系统启动之前在次级控制器端对电源的需要。初级控制器就没有这样的问题,因为在初级端总有可提供的电源。解决次级控制启动问题主要有两种方法。一种方法就是增加一个辅助电源专用于次级控制器的启动。另一种方法就是在初级端有一个专用的启动器件以便为了启动次级端控制器在次级端建立初始偏置电压。

ADI 公司的 ADuM5242 双通道的数字隔离器,具有 50 mW 的隔离输出功率,是一种解决启动问题的理想解决方案。这种 8 引脚 SOIC 封装的器件提供两个信号隔离通道,支持高达 10 Mbps 的 PWM 信号,还有一个用于次级控制器启动的 5 V, 10 mA 隔离电源。一旦系统启动后,用户可以选择禁止这个电源。这种禁止功能是通过监视输入电源电压实现的。当输入电源电压降至 4 V 以下时,图 5 中所示的反馈控制开关就会断开。图 6 是在次级控制系统中采用 ADuM5242 的应用实例框图。两个数字信号通道提供具有同步整流的次级控制器的反馈信号,以便驱动初级端的半桥式驱动器。

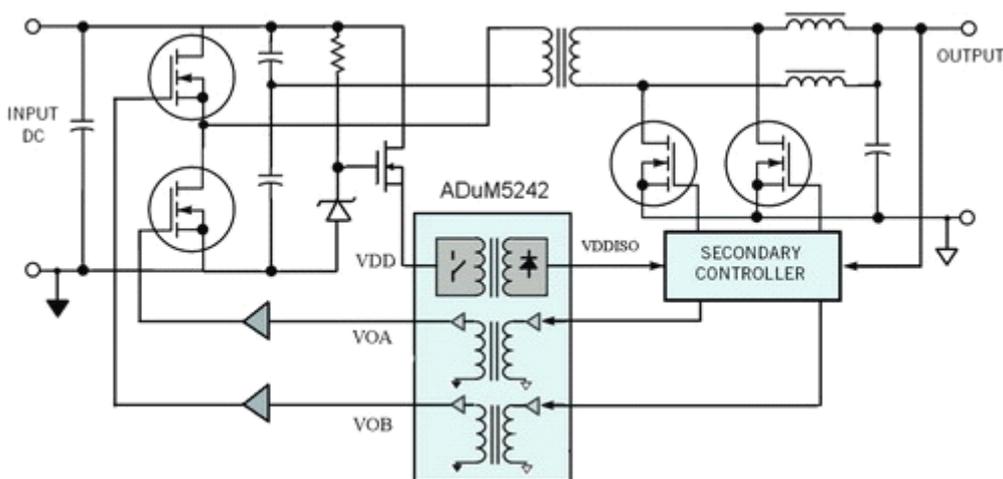


图 6 采用基于 isoPower 技术的 ADuM5242 的次级控制系统应用实例

与 ADuM5242 一起还推出两种其它的数据通道配置。ADuM5240 有两个隔离的输出通道,而 ADuM5241 有一个隔离的输出通道和一个隔离的输入通道。这就为支持各种不同应用提供了灵活性。ADuM524x 产品还可以与其它的多通道 iCoupler 器件配合使用以便配置更多的隔离信号通道。

采用 isoPower 技术的 iCoupler 解决方案在单芯片中提供了一种完整的隔离解决方案。它不仅提供从功耗、尺寸和性能方面都真正超过光耦合器的先进的数字信号隔离方法,而且它还无需分立的隔离电源。iCoupler 技术提供了无与伦比的功能集成的可能性,可以显著地降低复杂程度、尺寸以及隔离系统的总成本。