

实现隔离式半桥栅极驱动器的设计基础

隔离式半桥栅极驱动器可用于许多应用，从要求高功率密度和效率的隔离式DC-DC电源模块，到高隔离电压和长期可靠性至关重要的太阳能逆变器等等，不一而足。本文将详细阐述这些设计理念，探索隔离式半桥栅极驱动器解决方案在提供高性能和小尺寸方面的卓越能力。

隔离式半桥驱动器的功能是驱动上桥臂和下桥臂N沟道MOSFET(或IGBT)的栅极，通过低输出阻抗降低导通损耗，同时通过快速开关时间降低开关损耗。上桥臂和下桥臂驱动器需要高度匹配的时序特性，以实现精确高效开关操作。这减少了半桥关断和开通之间的死区时间。实现隔离式半桥栅极驱动功能的典型方法是使用光耦合器进行隔离，后跟高压栅极驱动器IC，如图1所示。该电路的一个潜在问题是，仅有一个隔离输入通道，而且依赖高压驱动器来提供通道间所需的时序匹配以及应用所需的死区。另一问题是，高压栅极驱动器并无电流隔离，而是依赖结隔离来分离同一IC中的上桥臂驱动电压和下桥臂驱动电压。在下桥臂开关事件中，电路中的寄生电感可能导致输出电压 V_s 降至地电压以下。发生这种情况时，上桥臂驱动器可能发生锁，并永久性损坏。

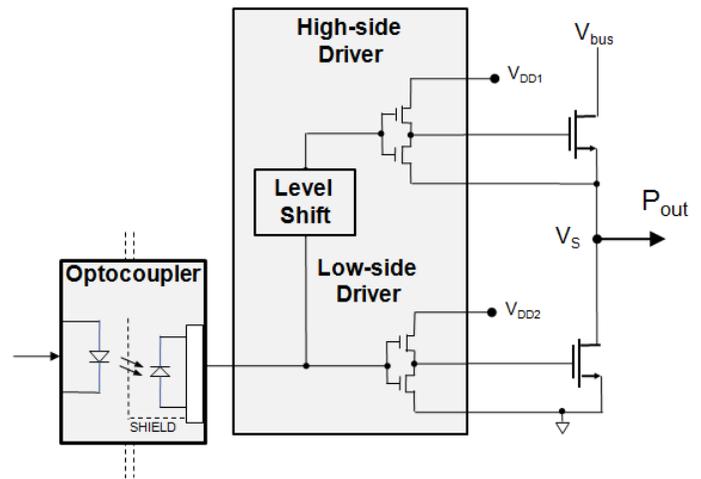


图1. 高压半桥栅极驱动器

光耦合器栅极驱动器

另一种方法(如图2所示)利用两个光耦合器来实现输出之间的电流隔离，从而避免了上桥臂-下桥臂交互作用的问题。栅极驱动器电路往往置于与光耦合器相同的封装中，最常见的情况是，两个独立的光耦合器栅极驱动器IC构成完整的隔离式半桥，结果使解决方案尺寸变大。需要注意的是，光耦合器是作为分立式器件生产的，即使两个光耦合器封装在一起亦是如此，因此，它们的通道间匹配存在限制。这会增加关闭一个通道与打开另一个通道之间的死区，从而导致效率下降。光耦合器的响应速度同样受到原边发光二极管(LED)电容的限制，而且将输出驱动至高达1 MHz的速度也会受到其传播延迟(最大值为500 ns)以及较慢的上升和下降时间(最大值为100 ns)的限制。要使光耦合器达到最高速度，需要将LED电流增加至10 mA以上，这会消耗更多功率，缩短光耦合器的寿命并降低其可靠性，尤其是在太阳能逆变器和电源应用中常见的高温环境下。

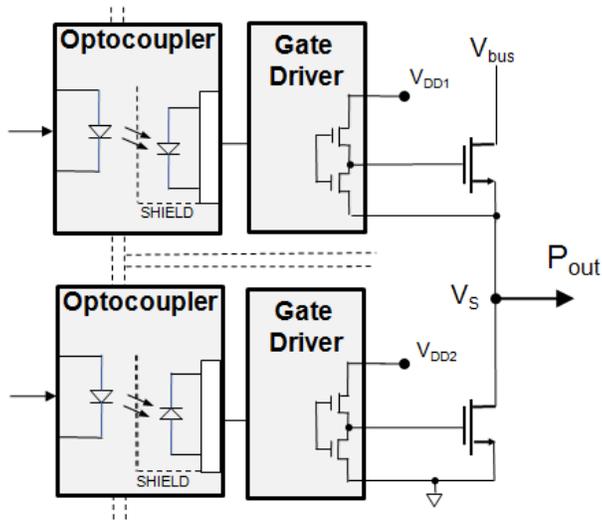


图2. 光耦合器半桥栅极驱动器

脉冲变压器栅极驱动器

接下来，我们将探讨电流隔离器，由于它们具有更低的传播延迟、更精确的时序，因此速度比光耦合器更高。脉冲变压器是一种隔离变压器，其工作速度可以达到半桥栅极驱动器应用通常所需的水平(最高1 MHz)。栅极驱动器IC可用于提供容性MOSFET栅极充电所需的高电流。图3中的栅极驱动器以差分方式驱动脉冲变压器的原边，该变压器副边有两个绕组，用于驱动半桥的各个栅极。使用脉冲变压器的一个优势是，它不需要用隔离电源来驱动副边MOSFET。当感应线圈中有较大的瞬态栅极驱动电流流过时(会导致振铃)，这种应用就可能出现问题。它有可能使栅极不合需要地开启和关闭，从而损坏MOSFET。脉冲变压器的另一个局限在于，它们在要求信号占空比在50%以上的应用中可能表现不佳。这是由于变压器只能提供交流信号，因为铁芯磁通量必须每半个周期复位一次以维持伏秒平衡。最后，脉冲变压器的磁芯和隔离式绕组需要相对较大的封装。再加上驱动器IC和其他分立式元件，最终建立的解决方案可能尺寸过大，无法适应许多高密度应用。

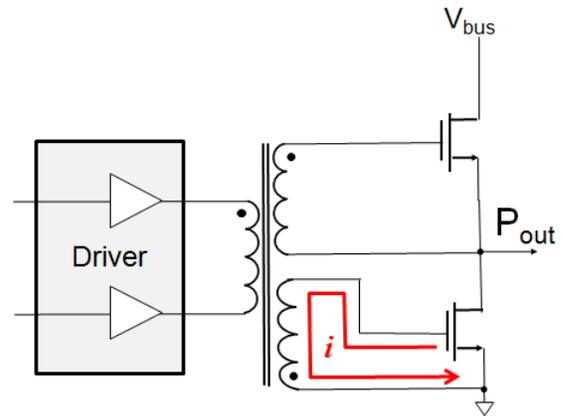


图3. 脉冲变压器半桥栅极驱动器

数字隔离器栅极驱动器

现在，我们来看看以数字隔离器来实现隔离式半桥栅极驱动器的方法。在图4中，数字隔离器使用标准CMOS集成电路工艺，以金属层形成变压器线圈，并以聚酰亚胺绝缘材料来分离线圈。这种组合可以实现5 kV rms以上(1分钟额定值)的隔离能力，可用于增强型隔离电源和逆变器应用。

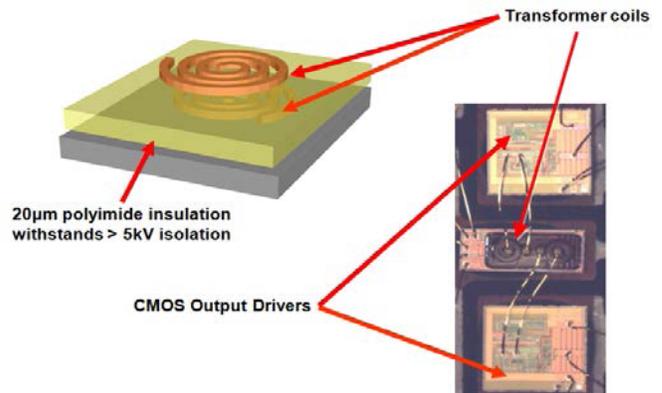


图4. 采用变压器隔离的数字隔离器

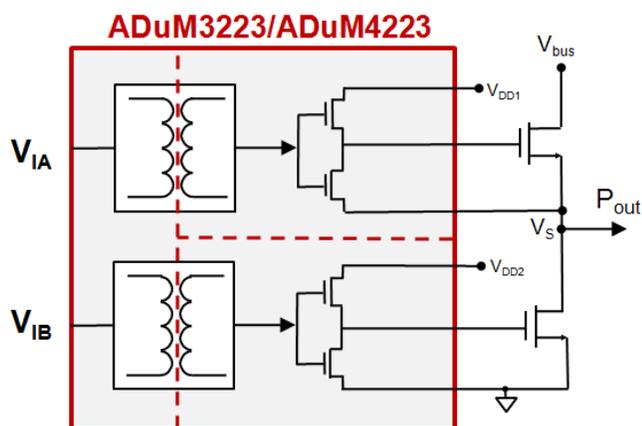


图5. 数字隔离器4 A栅极驱动器

如图5中电路所示，数字隔离器消除了光耦合器中使用的LED以及与之相关的老化问题，而且功耗更低、可靠性更高。输入与输出以及输出与输出之间提供电流隔离，以消除上桥臂-下桥臂的交互作用。输出驱动器通过低输出阻抗降低导通损耗，同时通过快速开关时间降低开关损耗。与光耦合器设计不同，上桥臂和下桥臂数字隔离器是输出匹配型集成电路，具有更高的效率。高压栅极驱动器集成电路(图1)会增加电平转换电路中的传播延迟，因而不能像数字隔离器一样实现通道间时序特性的匹配。在数字隔离器中集成栅极驱动器，可使解决方案的尺寸降至单封装级，从而大幅减小解决方案尺寸。

共模瞬变抗扰度

在针对高压电源的许多半桥栅极驱动器应用中，开关元件中可能发生极快的瞬变。在这些应用中，如果较大的 dV/dt 可能在隔离栅上发生容性耦合，则有可能在隔离栅上导致逻辑瞬变错误。在隔离式半桥驱动器应用中，这种情况可能在交叉传导过程中同时打开两个开关，因而可能损坏开关。隔离栅上的任何寄生电容都可能成为共模瞬变的耦合路径。光耦合器需要以敏感度极高的接收器来检测隔离栅上传递的少量光，而且较大的共模瞬变可能扰乱其输出。可以在LED与接收器之间添加一个屏蔽，以改善光耦合器对共模瞬变电压的敏感度，大多数光耦合器栅极驱

动器正是这样做成的。该屏蔽可以提高共模瞬变抗扰度(CMTI)，从标准光耦合器不到 $10\text{ kV}/\mu\text{s}$ 的额定值提升至光耦合器栅极驱动器的 $25\text{ kV}/\mu\text{s}$ 。虽然 $25\text{ kV}/\mu\text{s}$ CMTI对许多栅极驱动器应用是足够的，但是对于瞬变电压较大的电源以及太阳能逆变器应用来说，可能需要 $50\text{ kV}/\mu\text{s}$ 或更大的CMTI。

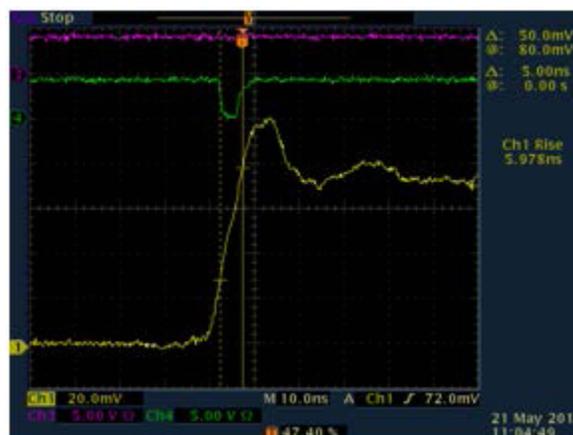


图6. 基于电容的数字隔离器(CMTI <math>10\text{ kV}/\mu\text{s}</math>)

数字隔离器可以向其接收器提供更高的信号电平，并能承受极高的共模瞬变而不会导致数据错误。基于变压器的隔离器是四端器件，可对信号提供低差分阻抗，对噪声提供高共模阻抗，从而实现优秀的CMTI。其它数字隔离器可能使用容性耦合来产生变化的电场，实现跨越隔离栅的数据传输。与基于变压器的隔离器不同，基于电容的隔离器是双端器件，噪声和信号共用同一传输路径。对于双端器件，信号频率需要远高于预期的噪声频率，以便隔离栅电容对信号提供低阻抗，而对噪声提供高阻抗。当共模噪声电平大到足以淹没信号时，则可能扰乱隔离器输出端的数据。图6所示为基于电容的隔离器中发生数据扰乱示例，其中，输出信号(通道4)在仅 $10\text{ kV}/\mu\text{s}$ 的共模瞬变过程中下降了 6 ns ，造成毛刺。注意，图中数据是在基于电容的隔离器的扰乱阈值下采集的；如果瞬变较大，扰乱可能持续更长时间，从而使MOSFET开关变得不稳定。相比之下，基于变压器的数字隔离器能够承受超过 $100\text{ kV}/\mu\text{s}$ 的共模瞬变，而输出端不会出现数据扰乱问题(见图7)。

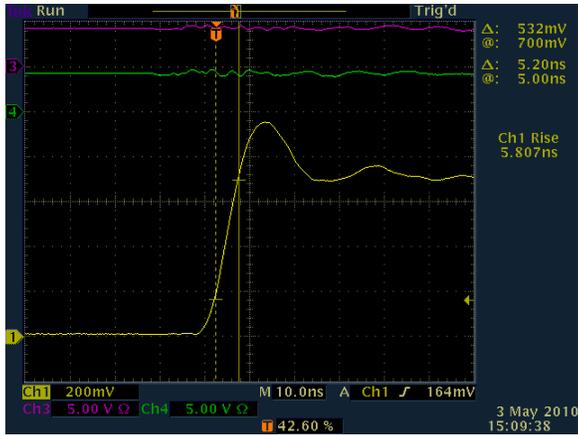


图7. 基于变压器的数字隔离器ADuM140x(CMTI为100 kV/μs)

总而言之，对于隔离式半桥栅极驱动器应用，事实表明，相对于基于光耦合器和脉冲变压器的设计，基于变压器的数字隔离器具有众多优势。通过集成极大降低了解决方案尺寸和设计复杂度，时序性能大大改善。通过电流隔离输出驱动器和更高的CMTI进一步提高了鲁棒性。

参考文献

技术文章“共模瞬变抗扰度”，Chris Coughlin(ADI公司)