

出于安全性考虑而平衡隔离器的主要元件

作者: David Krakauer, ADI公司iCoupler®数字隔离器部门产品线经理

多年来,工业、医疗和其他隔离系统的设计人员实现安全隔离的手段有限,唯一合理的选择是光耦合器。如今,数字隔离器在性能、尺寸、成本、效率和集成度方面均有优势。了解数字隔离器三个关键要素的特点及其相互关系,对于正确选择数字隔离器十分重要。这三个要素是:绝缘材料、结构和数据传输方法。

设计人员之所以引入隔离,是为了满足安全法规或者降低接地环路的噪声等。电流隔离确保数据传输不是通过电气连接或泄漏路径,从而避免安全风险。然而,隔离会带来延迟、功耗、成本和尺寸等方面的限制。数字隔离器的目标是在尽可能减小不利影响的同时满足安全要求。

传统隔离器——光耦合器则会带来非常大的不利影响。它们的功耗极高,而且数据速率低于1 Mbps。虽然存在更高效率和更高速度的光耦合器,但其成本也更高。

数字隔离器问世于10多年前,目的是降低光耦合器相关的不利影响。数字隔离器采用基于CMOS的电路,能够显著节省成本和功耗,同时大大提高数据速率。数字隔离器由上述要素界定。绝缘材料决定其固有的隔离能力,所选材料必须符合安全标准。结构和数据传输方法的选择应以克服上述不利影响为目的。所有三个要素必须互相配合以平衡设计目标,但有一个目标必须不折不扣地实现,那就是符合安全法规。

绝缘材料

数字隔离器采用晶圆CMOS工艺制造,仅限于常用的晶圆材料。非标准材料会使生产复杂化,导致可制造性变差且成本提高。常用的绝缘材料包括聚合物(如聚酰亚胺PI,它

可以旋涂成薄膜)和二氧化硅(SiO₂)。二者均具有众所周知的绝缘特性,并且已经在标准半导体工艺中使用多年。聚合物是许多光耦合器的基础,作为高压绝缘体具有悠久的历史。

安全标准通常规定1分钟耐压额定值(典型值2.5 kV rms至5 kV rms)和工作电压(典型值125 V rms至400 V rms)。某些标准也会规定更短的持续时间、更高的电压(如10 kV峰值并持续50 μs)作为增强绝缘认证的一部分要求。基于聚合物/聚酰亚胺的隔离器可提供最佳的隔离特性,如表1所示。

表1. 隔离特性

	基于聚合物的光耦合器	基于聚酰亚胺的数字隔离器	基于SiO ₂ 的数字隔离器
耐受电压(1分钟)	7.5 kV rms	5 kV rms	5 kV rms
400 V rms工作电压下的寿命	25年	50年	25年
针对增强型绝缘的浪涌电平	20 kV	12 kV	7 kV
绝缘距离(绝缘厚度)	400 μm	14-26 μm	7-15 μm

基于聚酰亚胺的数字隔离器与光耦合器相似,在典型工作电压时寿命更长。基于SiO₂的隔离器对浪涌的防护能力相对较弱,不能用于医疗和其他应用。

各种薄膜的固有应力也不相同。聚酰亚胺薄膜的应力低于SiO₂薄膜,可以根据需要增加厚度。SiO₂薄膜的厚度有限,因而隔离能力也会受限。例如,15 μm厚SiO₂层的应力可能会导致晶圆在加工过程中开裂,或者在隔离器使用期间分层。基于聚酰亚胺的数字隔离器可以使用厚达26 μm的隔离层。

隔离器结构

数字隔离器使用变压器或电容将数据以磁性方式或容性方式耦合到隔离栅的另一端,光耦合器则是使用LED发出的光。

如图1所示,变压器电流脉冲通过一个线圈,形成一个很小的局部磁场,从而在另一个线圈生成感应电流。电流脉冲很短(1 ns),因此平均电流很低。

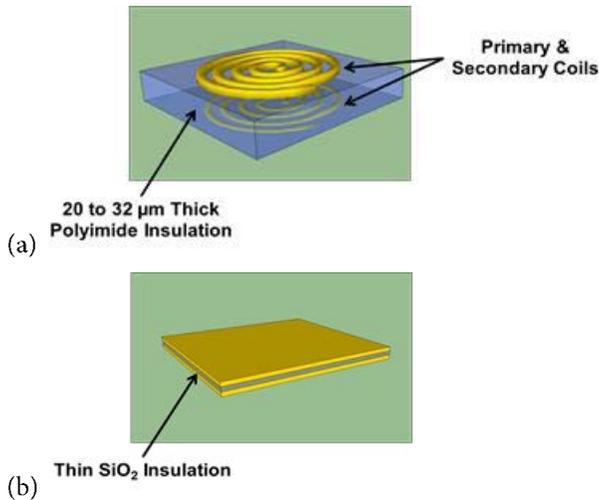


图1. (a) 带厚聚酰亚胺绝缘层的互感器，电流脉冲产生磁场，在另一个线圈中感生电流；(b) 带薄 SiO_2 绝缘层的电容，利用低电流电场将数据耦合到隔离栅的另一端。

变压采用差分连接，提供高达 $100\text{ kV}/\mu\text{s}$ 的出色共模瞬变抗扰度(光耦合器通常约为 $15\text{ kV}/\mu\text{s}$)。磁性耦合对变压器线圈间距离的敏感性也弱于容性耦合对板间距离的依赖性，因此，变压器线圈之间的绝缘层可以更厚，从而获得更高的隔离能力。结合聚酰亚胺薄膜的低应力特性，使用聚酰亚胺的变压器比使用 SiO_2 的电容更容易实现高级隔离性能。

电容为单端连接，更容易受共模瞬变影响。虽然可以用差分电容对来弥补，但这会增大尺寸并提高成本。

除整体性能外，使用该变压器还有其他好处：它们支持集成隔离电源。ADI的isoPower®技术集成带数据隔离功能的隔离式DC-DC转换器，可创建完整的隔离解决方案。毕竟，变压器是隔离式DC-DC转换器的关键元件。基于电容或基于LED的隔离器无法实现这类解决方案。

数据传输方法

光耦合器使用LED发出的光将数据传输到隔离栅的另一端：LED点亮时表示逻辑高电平，熄灭时表示逻辑低电平。当LED点亮时，光耦合器需要消耗电能；对于关注功耗的应用，光耦合器不是一个好的选择。多数光耦合器将输入端和/或输出端的信号调理留给设计人员实现，而这并不一定是非常简单的工作。

数字隔离器使用更先进的电路来编码和解码数据，支持更快的数据传输速度，能够处理USB和I²C等复杂的双向接口。

一种方法是将上升沿和下降沿编码为双脉冲或单脉冲，以驱动变压器(图2)。这些脉冲在副边解码为上升沿或下降沿。这种方法的功耗比光耦合器低10倍到100倍，因为不像光耦合器，电源无需连续提供给器件。器件中可以包括刷新电路，以便定期更新直流电平。

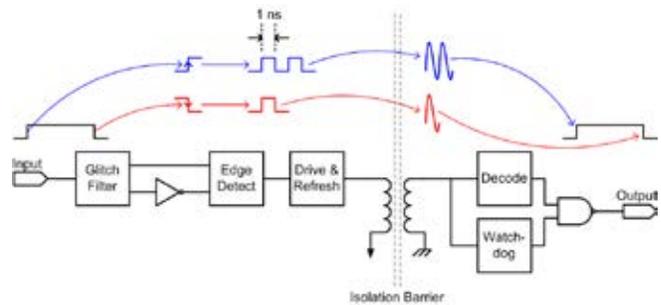


图2. 一种数据传输方法是将边沿编码为单脉冲或双脉冲

另一种方法是使用RF调制信号，其使用方式与光耦合器使用光的方式非常相似，逻辑高电平信号将引起连续RF传输。一般将其称为“开关”方案。此方案的优势是它可以更快地跨越隔离栅传输数据；但抖动有时会是问题。此外，开关方案的功耗高于脉冲方法，因为逻辑高电平信号需要持续消耗电能。采用脉冲方法，则功耗可以降低至 $1\ \mu\text{W}$ 的最低水平，这是其他方法所不能比拟的。

也可以采用差分技术来提供共模抑制，不过，这些技术最好配合互感器等差分元件使用。

选择正确的组合

数字隔离器在尺寸、速度、功耗、易用性和可靠性方面具有**光耦合器所无法比拟的巨大优势**。在数字隔离器领域，不同的绝缘材料、结构和数据传输方法组合造就不同的产品，而不同的产品适合不同的具体应用。如上所述，基于聚合物的材料提供最鲁棒的隔离能力，这种材料几乎适合所有应用，但医疗保健和重工业设备等要求最严格的应用受益最大。为了实现最鲁棒的隔离，聚酰亚胺厚度可以超过对电容而言的合理厚度。因此，基于电容的隔离最适合不需要安全隔离的功能隔离应用。在这种情况下，基于变压器的隔离可能是最合理的，特别是结合差分数据传输方法，以便充分利用变压器的差分特性。

虽然每一位设计人员都会选择最适合其应用、拥有适当平衡特性的隔离器，但三个参数是非常重要的：时序、功耗，当然还有隔离。为了对不同的技术进行评估，考虑下图中的情形。图中采用的品质因数基于时序/隔离能力，然后根据功耗绘出曲线。在这种情况下，我们选择了浪涌耐受阈值(2 μ s上升时间和50 μ s下降时间的高压脉冲，用来建立加强型隔离的适用性)来测量隔离能力。功耗表示1 Mbps数据速率下每通道的最大功耗，单位是mW；我们选用1 Mbps作为代表性的速率，因为大部分功耗敏感型应用工作在中等数据速率下。对于时序而言，我们关心信号跨越隔离栅传输的总时序延迟。因此，它不仅包含传播延迟，还包括抖动和输出上升与下降时间。

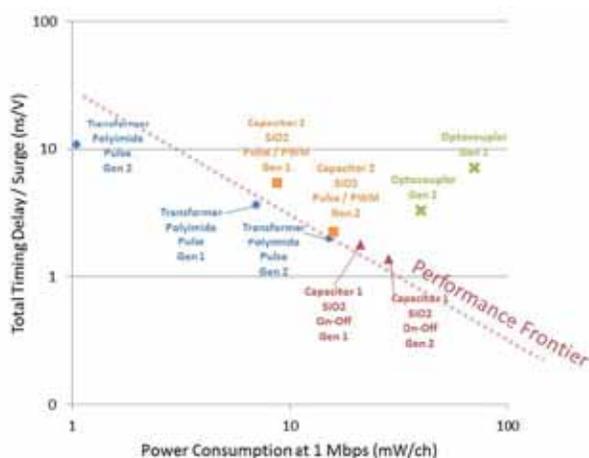


图3. 不同的隔离器特性组合导致不同的品质因数。
有一点是毫无疑问的：光耦合器远不如数字隔离器。

以这种方式呈现时，可以看到存在一个性能边界，它由数字隔离器占据。光耦合器远远落后于该边界，最近的改进已使其向性能边界靠近，但与数字隔离器仍有很大距离。

从图中还可以看到，不同的技术占据着边界上的不同位置，基于变压器/聚酰亚胺且采用脉冲编码方法的数字隔离器的电源效率低很多，采用开关键控方法的数字隔离器则显示出更好的时序性能。

图中还隐藏了一些微妙的细节，这就是不同数字隔离器供应商的各代产品在该边界上的变动趋势。ADI公司的第二代产品向边界的两侧移动，一侧是降低功耗，另一侧是降低总时序延迟。虽然有这些变化，但隔离能力不变。电容1供应商仅沿边界的一个方向移动，并通过提高隔离能力来实现，但这样做会增加总时序延迟。原因似乎是，通过增加SiO₂厚度来提高隔离能力会降低数据传输所需的耦合，进而降低性能。

小结

ADI公司在开发其数字隔离技术时，考虑了数字隔离四要素的各不同之处，并重点关注绝缘材料、隔离元件以及跨越隔离栅传输数据的方法。ADI公司的核心iCoupler技术基于聚酰亚胺绝缘和芯片级变压器，因为这种组合可提供最佳的灵活性，不仅能集成其他功能(如隔离电源)，还允许使用不同的数据传输方法。ADI将近14年来始终采用的脉冲方法依然可提供出色的能效和时序性能，同时保留采用其他具备自身优势的方法的可能性。所有这一切均可在不牺牲隔离能力的前提下实现，这是设计人员使用隔离器的首要原因。

资源

分享本文

[facebook](#)
[twitter](#)

注释