

超低功耗开启高速隔离应用之门

作者：Mark Cantrell, ADI公司应用工程师

长久以来，隔离一直被设计师视为一个必不可少的负担。说它必不可少是因为，它可以使电子元件变得安全，以便任何人都能使用。说它是个负担是因为，它会限制通信速度，消耗大量电能，并占用较大的电路板空间。基于老技术的光耦合器，甚至许多较新的数字隔离器，其功耗非常高，致使某些类型的应用失去了可行性。在本文中，我们将考察超低功耗隔离领域的最新发展，其与现有技术的关系，以及其实现方式。同时，我们还将探讨可以从这类新器件受益的多种应用。

对设计师来说，大约45年前出现的现代光耦合器是一个巨大的进步。它们允许在电源控制电路中实现反馈，在通信电路中实现信号隔离以中断接地环路，以及对高端功率晶体管或电流监控器进行通信。20世纪70年代，光电器件大量涌现。这些器件影响了RS-232、RS-485等通信标准，以及4至20 mA电路环路和DeviceNet及PROFIBUS®等工业总线的发展。受隔离器件本身限制的影响，光隔离的功能决定了这些通信总线的诸多特性。在接下来的20年中，隔离技术的发展变化基本上属于量变，而到了2000年，市场上出现了首批新型芯片级**数字隔离器**。这些新器件以感性耦合技术为基础，采用芯片级变压器、GMR材料以及后来的差分容性耦合技术。与较老的光耦合器相比，这些新技术可以实现超高的速率和超低的功耗水平，然而，受当时实施的标准限制，新器件的许多功能(如高速率)并未得到充分利用，因为现行标准接口并不需要这些功能。

在数字隔离器采用标准封装和IC工艺制造其编码和解码电子元件之后，数字化功能的添加变得十分简便。低功耗、

对低电源电压的支持以及高集成度成为非光学隔离器的主要设计优势。能大幅提高隔离速率并且大幅降低隔离功耗的新技术可以支持要求最为苛刻的新接口标准。目前，数字隔离器的功耗(远远低于光耦合器)需要低两至三个数量级才能进入新的应用空间。到目前为止，高性能隔离还不能实现这一目标。

各种技术的比较

隔离器件性能的快速发展是数据编码方案与数据传输所用介质的效率共同作用的结果。在本文中，我们将集中讨论决定功耗的各个方面。编码和解码方案可以大致分为基于边沿编码脉冲的系统 and 电平编码系统。简单而言，基于电平的系统必须持续地将能量推过隔离栅，以保持一个主动输出状态，同时，通过不越过隔离栅发送能量来表示被动输出状态。

在**光耦合器**中，光会对能量传输进行调解，与直接建立电场或磁场相比，其效率较低，并且在接收元件端，其检测效率较差。因此，简单的晶体管或基于PIN二极管的光耦合器需要消耗大量电能来产生光，以使输入保持开启状态，但接收器只需消耗很少的电能即可接收信号。这一点可以在表1中看出，其中列出了PIN二极管接收器光耦合器的功耗。平均而言，这类光耦合器具有高输入电流和低输出电流的特点。较高速率的数字光耦合器通过在接收器中增加有源放大模块的方式，减少了维持某种状态所需要的光量。这就降低了LED所需要的平均电流，但接收器具有相对较大的静态电流，因此，其功耗并未真正降低——只是推到了接收器端。降低所需功耗需要提高LED和接收器元件的效率，或者更改编码方案。这就是光耦合器技术在如此长的时间中，只取得了量变发展的原因所在。

在许多容性耦合数字隔离器中，系统实际上与光耦合器相似。这类器件采用一个高频振荡器来把信号通过一对差分电容传递出去。该振荡器，非常像光耦合器中的LED，需要消耗电能以发送主动状态，并关闭以发送被动状态。接收器配有有源放大器，在两种状态下都要消耗偏置电流。如表1所示，由于电容的耦合效率较高，总功耗要显著好于光耦合器选项。需要注意的是，如果采用感性耦合而非容性耦合技术，数字隔离器的功率水平大致与之相当。在这种情况下，决定最低功率水平的主要是编码方案，在低数据速率下尤其如此。

ADI出品的*iCoupler*®型数字隔离器(如ADuM140x系列)采用了另一种编码方案，如图1所示。在该方案中，边沿在输入端检测并编码成脉冲。在ADuM140x中，一个脉冲代表一个下降沿，两个脉冲表示一个上升沿。这些脉冲通过小型片内脉冲变压器耦合至次级绕组。接收器对脉冲计数，并重构数据流。脉冲本身具有出色的鲁棒性，可以获得优秀的信噪比，但其宽度只有1 ns，因此，每个脉冲的能量是很低的。结果产生非常好的属性，即当没有数据发生变化时，输出端的状态会被锁存保持，几乎不消耗电能。这意味着，功耗就是脉冲流中传输的集成电能加上一定的偏置电流。随着数据速率的下降，功耗呈线性下降，直到直流为止。同样，导致功耗减少的是编码方案而不是特定数据传输介质，该方案可以在容性，甚至光学系统中实现。

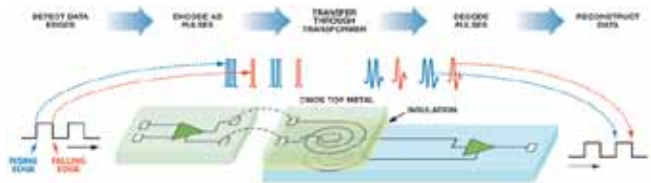


图1. 基于脉冲的编码方案

脉冲编码方案并非低功耗的灵丹妙药。其缺点是，如果输入端无逻辑变化，则不会将数据发到输出端。这意味着，如果存在因启动序列导致的直流电平差，则输入端和输出端将不匹配。ADuM140x解决了这个问题，其方法是在输入通道上实现一个刷新看门狗计时器，如果在超过1 μs的时间内未检测到活动，则会重新发送直流状态。这种设计的

结果是，当数据速率低于1 Mbps时，该编码方案不再继续减少功耗。器件基本上始终运行在至少1 Mbps的速率下，因此，在低数据速率下，功耗不会继续下降。即便如此，与表1所示电平敏感型方案相比，脉冲编码方案的平均功耗较低。

技术	输入 (mA)	输出 (mA)
高速数字光耦合器	2.5	8.5
高速PIN/晶体管光耦合器	8	1.2
容性数字隔离器	1.25	1
感性数字隔离器	0.5	0.23
超低功耗感性数字隔离器	0.01	0.01

表1. 隔离器每通道功耗比较
($V_{DD} = 3.3 V, 100 \text{ kbps}$)

进一步降低功耗

ADuM140x脉冲编码方案最初是针对高数据速率而非绝对最低功耗而优化的。该编码方案在降低功耗方面潜力巨大，尤其是在直流至1 Mbps频率范围内。这一数据范围正是多数隔离应用所使用的范围，尤其是要求低功耗的隔离应用。基于4通道ADuM144x和2通道ADuM124x *iCoupler*技术的系列器件采用了以下创新技术。

1. 设计采用较低电压CMOS工艺实现
2. 全部偏置电流均经过评估，并尽可能将偏置降至最低或完全消除
3. 将刷新电流的频率从1 MHz减至17 kHz
4. 刷新电路可以完全禁用，以实现最低功耗

功耗为频率的函数，如图2所示(相较于ADuM140x)。对于ADuM140x，刷新导致的曲线“膝部”在1 Mbps时清晰可见，对于ADuM144x，当启用刷新时，则在17 kbps下清晰可见。ADuM144x的典型每通道功耗，在1 kbps下要低65倍，而在完全禁用刷新功能时，则大约低1000倍。

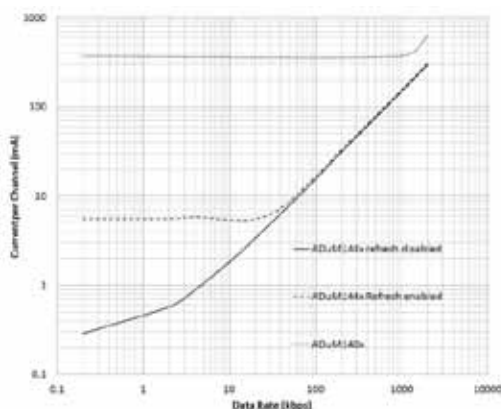


图2. ADuM144x和ADuM140x器件在VDDX = 3.3 V条件下的每通道总功耗

为什么功耗下降这么多很有用？在以下三种应用中，传统光耦合器和数字隔离器要么勉强合格，要么完全不可用。

4 mA至20 mA隔离环路供电现场仪表

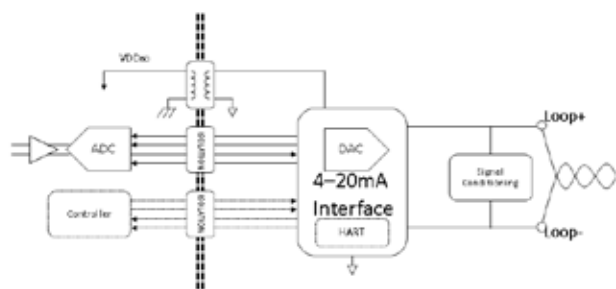


图3. 搭载HART® 调制解调器支持的隔离式、环路供电型智能传感器前端

环路供电型现场仪表的功耗预算十分有限，因为全部电能均来自4 mA环路电流。幸运的是，环路通常可以提供足够的电压，一般为24 V，可以从系统获得大约100 mW的功率。整个应用将消耗大约12 V环路电压(4mA)。在该预算范围内，简单的DC-DC转换器为隔离式传感器、模数转换器(ADC)和控制器供电。即便假定DC-DC转换器具有较高的效率，且电压降压比例为2:1，则典型传感器前端可提供的功率小于4 mA(3.3 V)。环路端的功耗预算大致相同。主要接口是连接ADC的SPI总线。隔离接口的每一端均由环路供电，还有控制器的全部ADC以及信号调理元件都是由环路供电。表2所示为每种隔离技术下的一个4线SPI总线的功耗。SPI 1为隔离的环路端电流，SPI 2为所需要的传感器端电流。光耦合器在隔离接口的每一端都将消耗多倍于功耗预算的电能。容性数字隔离器将消耗现场仪表的全部功耗预算。ADuM1401代表着一种可能性，但系统其余部分的功耗预算十分勉强，即便只支持连接ADC的单个SPI接口。采用

iCoupler技术的超低功耗数字隔离器ADuM1441的功耗非常低，仅占功耗预算的很小一部分。该技术不但允许应用在其功耗预算范围内正常工作，同时允许添加第二个4通道隔离器，以支持HART调制解调器接口和智能前端控制器，如图中虚线部分所示。功耗超低的iCoupler技术可以实现以前的隔离应用不可能实现的新功能

技术	SPI 1 (mA)	SPI 2 (mA)
高速数字光耦合器	16	28
高速PIN/晶体管光耦合器	25.2	11.6
容性数字隔离器	4.75	4.25
感性数字隔离器	1.73	1.19
超低功耗感性数字隔离器	0.04	0.04

表2. 一个100 kbps隔离式SPI接口的每一端的总功耗

以太网供电I²C通信总线

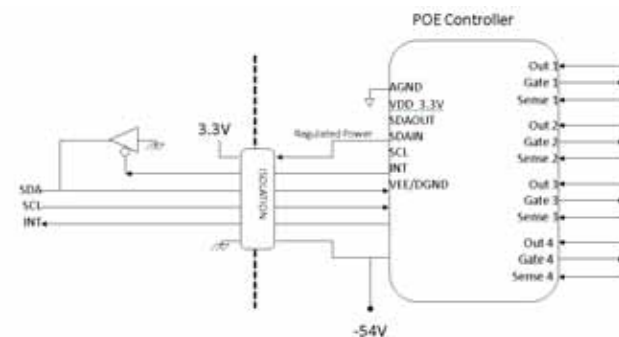


图4. 搭载隔离式I²C和中断的POE、4端口控制器

诸如以太网供电(POE)一类的电信类应用从相对较高的电压轨获得电能，该电压轨提供以太网电能。控制通信接口必须从隔离式DC-DC转换器或者通过-54 V总线电压稳压器获得电能。在图4所示示例中，3.3 V的I²C控制总线通信接口由POE控制器内置的稳压器产生。图3所示为在POE控制器端运行I²C总线接口所需要的电流，以及POE控制器为支持每种技术所消耗的功耗。光耦合器解决方案会在芯片中产生半瓦特的热量，该芯片很可能已经接近其热极限。在表中，从上往下，每个接口均略好于前一个，最后我们看到超低功耗的ADuM1441，其功耗约为1 mW。如此一来，该接口的热负载在这种芯片中显得微不足道。即使电源未在POE芯片内部调节，该功耗也非常低，可以使用一个简单的齐纳二极管和电阻，从而使节能元件的成本和冷却负载达到合理水平。该技术简化了电源架构。

技术	UART@ 100 kbps (mA)	功耗 (mW)
高速数字光耦合器	11.00	557.7
高速PIN/晶体管光耦合器	9.20	466.4
容性数字隔离器	2.25	114.1
感性数字隔离器	0.73	37.0
超低功耗感性数字隔离器	0.02	1.0

表3. 各种隔离技术在POE应用中的总功耗

电池供电设备

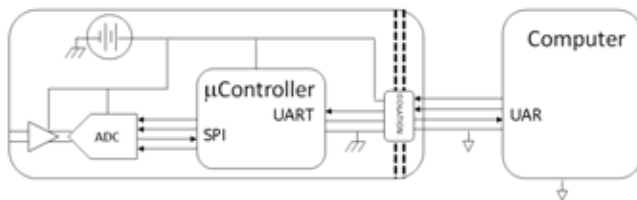


图5. 电池供电医疗传感器

超低功耗的第三个应用示例是为持续时间较长的电池供电应用提供支持。面向家庭健康监护的医疗器械(如血糖仪、脉搏血氧仪)必须采用特殊结构, 以在接触病人的同时, 还能连接非医疗计算机。必须为串行接口供电, 并在连接计算机时, 能唤醒设备, 因此, 待机电路中应采用有源隔离器。在这种情况下, 利用ADuM1441的刷新禁用功能可以使器件的电池能耗降至4 μ A以下。这一功耗水平非常低, 即使一枚纽扣电池, 也可以使待机电流维持数年时间。

ADuM1441的超低功耗同时支持为隔离模块面向计算机的一端方便供电。只需要几 μ A电流即可实现接口操作, 因此, 可以将串行接口中的一条状态线专门用于为隔离器供电, 这样就不需要使用专门的电源了。

表4展示的是光耦合器的部分属性, 以及工作于待机模式下的各种数字隔离。请注意, 如果选择了正确的空闲状态, 则PIN/晶体管隔离器的待机电流实际上可能像基于超低功耗iCoupler的产品一样低。人们利用光耦合器的这种特性来在许多应用中实现低功耗待机。然而, 一旦开始通信, 功耗就会上升至较高水平, ADuM1441解决方案就不会这样。

技术	UART 10 kbps (mA)	UART空闲 (mA)
高速数字光耦合器	11.000	7.000
高速PIN/晶体管光耦合器	5.330	0.001
容性数字隔离器	2.250	1.350
感性数字隔离器	0.730	0.730
超低功耗感性数字隔离器	0.002	0.001

表4. 隔离器的总低速和空闲功耗

结论

ADI已经为脉冲编码型iCoupler数字隔离器开发出一款新版本, 该版本针对极低功耗而进行了优化。对该器件做出的改动并未影响器件的隔离功能, 因为所用绝缘技术与高分辨率增强绝缘器件中完全相同。信号完整性类似于市场上过去13年以来出现的标准iCoupler。根据设计, 这些器件在直流至1 Mbps范围内可以支持超低功耗工作, 数据速率越低, 功耗越低。这种技术因工作功耗要低得多, 因此, 可以实现以前不可能实现的接口隔离性能。有关4通道ADuM144x系列超低功耗数字隔离器的更多信息, 请访问: www.analog.com/ADuM144x。有关2通道ADuM124x系列超低功耗数字隔离器的更多信息, 请访问: www.analog.com/ADuM124x。



Mark Cantrell自2006年以来，一直在ADI公司*iCoupler*数字隔离器技术部门担任应用工程师。在此之前，他在California Eastern Laboratories担任应用工程师，负责NEC光耦合器和固态继电器产品。

资源

分享本文

facebook

twitter