

iCoupler® 隔离产品的电源考虑因素

作者: Rich Ghiorse

简介

本应用笔记指南帮助用户了解ADI公司*iCoupler*产品在各种电源条件下的功能,同时还详细讨论电源电流消耗与功耗的计算。

*iCoupler*产品为具有出色集成度、性能和功耗特性的光耦

合器提供了一种替代隔离解决方案。一个*iCoupler*隔离通道包括CMOS输入和输出电路与一个芯片级变压器(图1)。在所有应用中, *iCoupler*都由不共地的两个独立源供电。设计期间必须考虑各种情况,以确保了解所有电源状态。

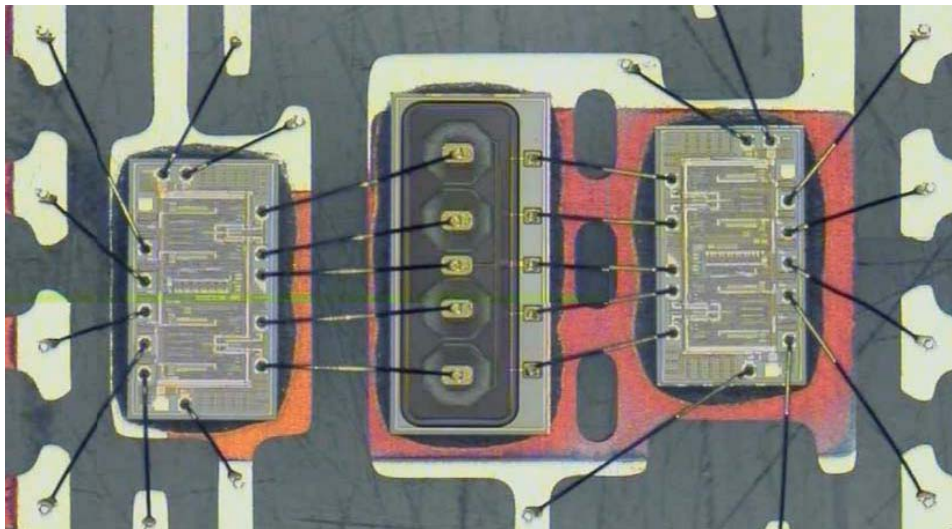


图1. ADuM140x四通道隔离器

目录

简介	1	电源转换期间的iCOUPLER通道	4
修订历史	2	电源电流计算	5
iCOUPLER电源基本原理	3	功耗考虑	7
iCOUPLER内部结构	4	结论	7

修订历史

2006年2月—版本0：初始版

iCOUPLER电源基本原理

图2显示了一个已供电*iCoupler*的简图。从该图我们可以看到*iCoupler*有两个独立电路：Side₁和Side₂。要将*iCoupler*用作一个隔离器，V_{DD1}和V_{DD2}必须彼此隔离。这揭示了几个要点：

- Side₁单独由V_{DD1}供电，而Side₂单独由V_{DD2}供电。
- V_{DD1}和V_{DD2}分别以GND₁和GND₂为参考。
- 因为隔离栅，V_{DD1}和V_{DD2}彼此没有参考点。
- 电源电流I_{DD1}和I_{DD2}局限在其各自一侧。

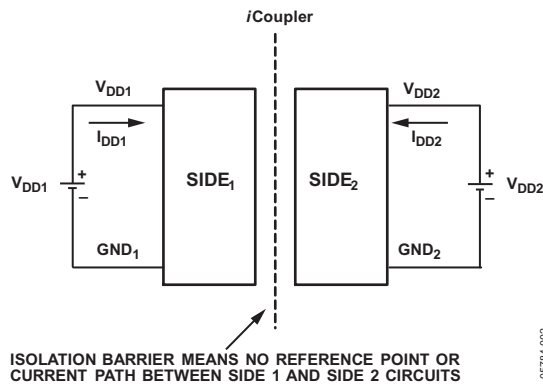


图2. 已供电*iCoupler*的原理图

图3所示为以不同接地为参考的电压测量示例。这种情况下，*iCoupler*采用V_{DD1} = 5V和V_{DD2} = +3V供电，在隔离栅上存在400 V的共模电压(V_{CM})。不带引号的电压以公共系统地(选择GND₁)为参考，而引号中的电压分别以局部接地GND₁和GND₂为参考。即使电压值不同，它们在此示例中仍然有效，因为这些值从不同参考点测得。

此示例强调两个要点：

- 在所有*iCoupler*电压测量中，始终要考虑参考点。
- 所有*iCoupler*电压以其各自的接地(GND₁或GND₂)为参考。

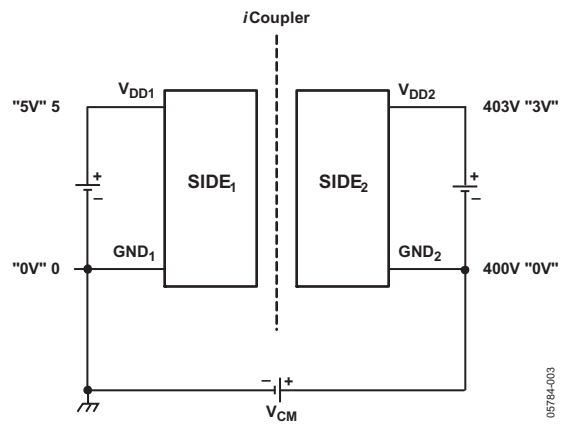


图3. 显示测量以不同接地为参考的*iCoupler*的示例

iCOUPLER内部结构

图4所示为ADuM1201双通道*iCoupler*的详细框图。ADuM1201在隔离栅的每一侧上都有输入和输出通道。这些通道是相同的，唯一不同的是数据流的方向。每个*iCoupler*通道都由级联电路构成：一个输入缓冲器、一个编码器(内置刷新发生器)、一个隔离变压器、一个解码器(内置看门狗定时器)和一个输出缓冲器。

输入和输出通道参数由下角标I和下角标O表示，其中下角标I表示输入电源值，下角标O表示输出电源值。一些示例包括： I_{DD1} (输入电源电流)和 V_{DDO} (输出电源电压)。按此规则并参考图4，可以认为 V_{DD1} 既是 V_{DDO} ，也是 V_{DDI} ，因为通道A的输出和通道B的输入位于*iCoupler*的 V_{DD1} 侧。此推论同样适用于*iCoupler*的另一侧，可以认为 V_{DD2} 是通道A的 V_{DDI} 和通道B的 V_{DDO} 。

*iCoupler*使用芯片级变压器来隔离数字信号。输入信号的边沿信息经过编码并以1 ns宽脉冲的形式施加至隔离变压器T1和隔离变压器T2，如图4中编码器的输出端所示。两个脉冲指示带一个上升沿的输入信号，一个脉冲指示带一个下降沿的输入信号。这些脉冲通过T1和T2耦合并在栅的另一侧解码，以在输出端重构。刷新发生器每1 μ s输出一个脉冲，保证输出端的直流正确性。如果解码器在大约2 μ s内未收到脉冲(比如在丢失输入侧功率的情况下)，或者如果器件损坏，看门狗定时器自动迫使输出处于高电平状态。

电源转换期间的iCOUPLER通道

考虑*iCoupler*在各种电源状态下的工作模式时，应从单个通道而非整个器件的角度加以思考。一个*iCoupler*通道存在四种电源状态，如表1所列。状态0和状态3属于正常情况；通道完全关闭或完全开启。状态1和状态2属于特殊情况，通道部分供电。这些状态表示在电源转换期间或在故障条件下发生的情况。

表1. *iCoupler*通道的四种电源状态

状态	V_{DDI}	V_{DDO}	备注
0	关	关	整个通道关闭，正常情况
1	关	开	输入端关闭，输出端开启，特殊情况
2	开	关	输出端关闭，输入端开启，特殊情况
3	开	开	整个通道开启，正常情况

在实际操作中，当值低于2.7 V时，认为*iCoupler*电源处于关闭状态。由于电源的上升时间有限，需要注意的是：当通道处于2.7 V以下的某一电源电压值时，就可能开始工作，不过这种情况是无法预测的。对于ADuM1xxx系列的*iCoupler*，电源的这一唤醒值约为1.8 V。

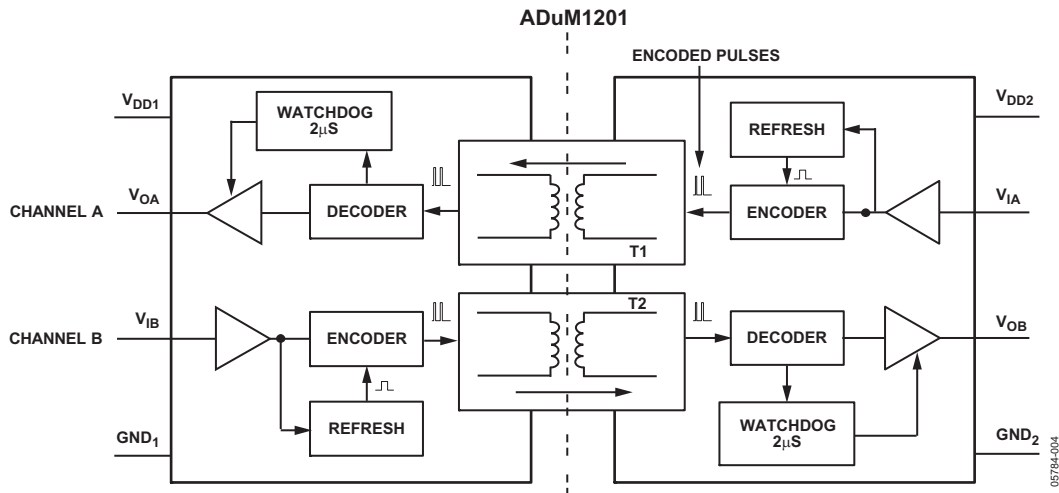


图4. 显示内部电路的ADuM1201框图

图5显示了*iCoupler*输出在各种电源状态下如何反应。在1.8 V至2.7 V区域内， V_{DDI} 存在不确定操作；使电源上升时间 $>0.1 \text{ V}/\mu\text{s}$ 可消除这种情况。在未供电输出或输入连接到其他供电电路的情况下，要确保施加至*iCoupler*的电压保持在绝对最大额定值以内。

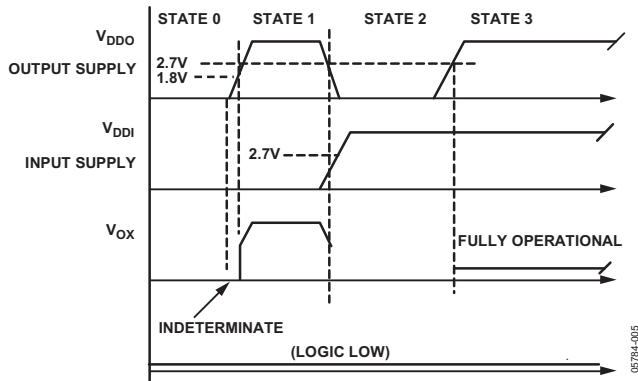


图5. 各种电源状态下的*iCoupler*输出

由此示例可得出以下要点：

- 电源的上升时间应 $>0.1 \text{ V}/\mu\text{s}$ 。
- 在未供电状态下，施加至*iCoupler*的电压不应超过绝对最大额定值。

ADuM3xxx系列*iCoupler*属于ESD强化产品，具有与ADuM1xxx系列*iCoupler*相同的功能规格。虽然ADuM3xxx系列是为提供更稳定的ESD/防闩锁特性而开发，但该系列也解决了上电和关断问题。ADuM3xxx系列通过欠压闭锁电路消除所有电源电压下的不确定操作来实现这一目的。在符合以下情况的应用中应考虑使用ADuM3xxx系列：

- 电源上升时间 $<0.1 \text{ V}/\mu\text{s}$ 。
- 电源噪声过大。
- 系统级测试期间发生闩锁和EOS/ESD问题。

电源电流计算

*iCoupler*的电源电流受电源电压值、输出负载和隔离通道的数据速率影响。 I_{DD1} 和 I_{DD2} 通过对各通道执行单独计算并对结果求和来确定。为便于计算多通道*iCoupler*的 I_{DD1} 和 I_{DD2} ，ADI公司网站www.analog.com/iCoupler上提供了一种设计工具。

给定通道的 I_{DDO} 值和 I_{DDI} 值采用公式1和公式2¹计算。

$$I_{DDO} = (I_{DDO(D)} + (0.5 \times 10^{-3}) \times C_L \times V_{DDO}) \times (2f - f_i) + I_{DDO(Q)} \text{ (mA)}; \quad (1)$$

$$f > 0.5 \times f_i$$

$$I_{DDI} = (I_{DDI(D)} \times (2f - f_i) + I_{DDI(Q)}) \text{ (mA)}; f > 0.5 \times f_i \quad (2)$$

其中：

$I_{DDI(D)}$ 、 $I_{DDO(D)}$ 是每个通道的动态输入和输出电源电流 (mA/Mbps)。

C_L 是输出负载电容(pF)。

f 是输入逻辑频率(MHz，输入数据速率的一半，NRZ信令)。

f_i 是输入级更新速率(Mbps)。

$I_{DDI(Q)}$ 和 $I_{DDO(Q)}$ 是输入和输出静态电源电流(mA)。

V_{DDO} 是输出电源值(V)。

¹ ADuM1100和ADuM3100属于单通道隔离器，使用不同方程组计算 I_{DDO} 和 I_{DDI} 。这两种型号规定了输入和输出动态功耗电容 C_{PD1} 和 C_{PD2} ，并使用以下公式：

$$I_{DD1} = C_{PD1} \times V_{DD1} \times f + I_{DD1Q}$$

$$I_{DD2} = (C_{PD2} + C_L) \times V_{DD2} \times f + I_{DD2Q}, \text{ where } C_L \text{ is load capacitance.}$$

图6所示为使用ADuM1401四通道*iCoupler*的示例。工作条件： $V_{DD1} = +5V$ ， $V_{DD2} = +3V$ ， $C_L = 15\text{ pF}$ ， $f = 40\text{ Mbps}$ ($f = 20\text{ MHz}$)。总 I_{DD1} 电流和总 I_{DD2} 电流是四个通道各自的 I_{DD1} 和 I_{DD2} 之和。

首先确定 V_{DD1} 为三个输入通道(通道A、B和C)和一个输出通道(通道D)供电。而 V_{DD2} 为一个输入通道(通道D)和三个输出通道(通道A、B和C)供电。因此， I_{DD1} 和 I_{DD2} 由公式3和公式4算出：

$$I_{DD1} = I_{DD1}(ChA) + I_{DD1}(ChB) + I_{DD1}(ChC) + I_{DDO}(ChD) \text{ (mA)} \quad (3)$$

$$I_{DD2} = I_{DDO}(ChA) + I_{DDO}(ChB) + I_{DDO}(ChC) + I_{DD1}(ChD) \text{ (mA)} \quad (4)$$

接下来，使用公式1和公式2计算 I_{DDO} 和 I_{DD1} 的值。在示例中，一共有八个中间计算过程。表2提供了这些计算过程的结果。理论上，存在16个可能的计算过程，但其中8个列为不适用(NA)，因为在隔离器的给定侧，通道要么是输入，要么是输出，绝不会同时为输入和输出。使用公式1和公式2的中间计算过程和ADuM1401数据手册中的典型值显示如下。为简明起见，假定所有通道的数据速率和负载相同。但实际情况可能并非如此。

表2. 图6的电源电流计算

	IDD1 (mA)		IDD2 (mA)	
	IDDO (mA)	IDDI (mA)	IDDO (mA)	IDDI (mA)
通道A	N/A	7.9	2.2	N/A
通道B	N/A	7.9	2.2	N/A
通道C	N/A	7.9	2.2	N/A
通道D	3.5	N/A	N/A	4.2

对于通道A、通道B和通道C：

$$I_{DDO} = (0.03 + 0.0005 \times 15 \times 3) \times (2 \times 20 - 1.1) + 0.11 = 2.2\text{ mA}$$

$$I_{DD1} = (0.19) \times (2 \times 20 - 1.1) + 0.50 = 7.9\text{ mA}$$

对于通道D：

$$I_{DDO} = (0.05 + 0.0005 \times 15 \times 5) \times (2 \times 20 - 1.1) + 0.11 = 3.5\text{ mA}$$

$$I_{DD1} = (0.1) \times (2 \times 20 - 1.1) + 0.26 = 4.2\text{ mA}$$

最后，使用公式3和公式4计算 I_{DD1} 值和 I_{DD2} 值：

$$I_{DD1} = 3.5 + 7.9 + 7.9 + 7.9 = 27.2\text{ mA} \quad (3)$$

$$I_{DD2} = 4.2 + 2.2 + 2.2 + 2.2 = 10.8\text{ mA} \quad (4)$$

注意看表2中的值，输入电流值高于输出电流值。输入通道的负载更高，因为输入通道必须为隔离变压器提供驱动电流。一个*iCoupler*耗用的电流量与频率有关，由公式2中的 $I_{DD1(D)}$ (动态输入电流)项表示。输出通道也有一个与频率有关的项，由公式1中的 $I_{DDO(D)}$ (动态输出电流)表示。

此示例的要点如下：

- 各通道需要单独计算来确定 I_{DDO} 值和 I_{DD1} 值。
- 电源电流 I_{DD1} 和 I_{DD2} 的最终值通过对单独 I_{DDO} 值和 I_{DD1} 值求和来计算。
- 电源电流随容性负载、逻辑频率和电源电压升高而增加。

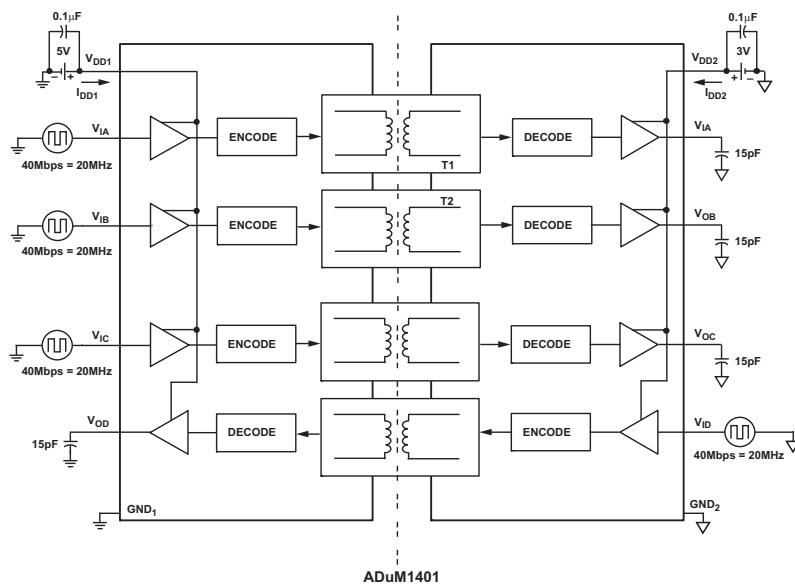


图6. 采用ADuM1401的电源电流计算示例

功耗考虑

总功耗 P_D 是Side₁功率 P_1 与Side₂功率 P_2 之和，如公式5和公式6所示：

$$P_D = P_1 + P_2 \text{ (W)} \quad (5)$$

$$P_D = V_{DD1} \times I_{DD1} + V_{DD2} \times I_{DD2} \text{ (W)} \quad (6)$$

公式7用于计算总封装温升。因为*iCoupler*的内部构造略有不同，所以Side₁和Side₂具有不同的热阻 θ_{JCI} 和 θ_{JCO} 。

$$T_{RISE} = \theta_{JCI} \times V_{DD1} \times I_{DD1} + \theta_{JCO} \times V_{DD2} \times I_{DD2} \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (7)$$

在已知 T_{RISE} 和 T_{AMAX} 的情况下，用户使用公式8进行计算，可验证是否超过最大结温 T_{MAX} ：

$$T_{AMAX} + T_{RISE} \leq T_{MAX} \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (8)$$

以下是ADuM1401在最差功耗条件下的计算示例：

$$\begin{aligned} f &= 90 \text{ Mbps, } C_L = 15 \text{ pF, } V_{DD1} = V_{DD2} = 5.5 \text{ V, } I_{DD1} = 82 \text{ mA,} \\ I_{DD2} &= 43 \text{ mA, } \theta_{JCI} = 33^\circ\text{C/W, } \theta_{JCO} = 28^\circ\text{C/W, 以及} \\ T_{AMAX} &= +105^\circ\text{C.} \end{aligned}$$

T_{MAX} 的计算公式为：

$$P_1 = 5.5 \text{ V} \times .082 \text{ A} = 0.45 \text{ W}$$

$$P_2 = 5.5 \text{ V} \times .043 \text{ A} = 0.23 \text{ W}$$

$$T_{RISE} = (33 \times 0.451 + 28 \times 0.237) = 21.5^\circ\text{C}$$

$$T_{MAX} = 105^\circ\text{C} + 21.5^\circ\text{C} = 126.5^\circ\text{C (远低于} 150^\circ\text{C 限值)}$$

在设计标准要求最大结温低于150°C的应用中，最大安全环境温度通过对上述计算进行逆推来确定。在给定电源值和数据速率的情况下，对于不同的 T_{MAX} 值，此计算结果会得出不同的 T_{AMAX} 。在军用、航空航天或其他高可靠性应用中，设计必须遵守既定的可靠性准则，这就适合使用上述方法。

结论

*iCoupler*隔离器件的独特性质要求我们对电源条件、电源转换、电源电流和功耗有着深入的了解。本应用笔记中讨论的主题有助于用户更清楚地了解*iCoupler*应用中关于电源的一些细微而值得注意的地方，从而使用户能够就*iCoupler*的电源要求、电源电流消耗和功耗做出更合理的决策。

注释