

iCoupler[®] 数字隔离技术及其应用

兰颖, 李刚

(天津大学 ADI 联合实验室, 天津 300072)

摘要: 介绍了基于 iCoupler[®] 技术的数字隔离器的内部结构、功能特点及其在 CAN 总线、RS-232 和 RS-485 中的应用。

关键词: iCoupler[®] 技术 数字隔离器 CAN 总线 RS-232 RS-485

1 隔离器技术简介

随着电子技术的不断发展,市场上对于能够替代光电耦合器并且具有改善性能、高集成度和低成本解决方案的需求十分强烈,数字隔离器就是美国模拟器件公司 ADI (Analog Devices Inc.) 为了适应这种需要而开发出的第一款适合高电压环境的有效隔离电路。

1.1 iCoupler[®] 技术与数字隔离器

iCoupler[®] 技术是 ADI 公司的一项专利隔离技术,它是一种基于芯片尺寸的变压器,而非传统的基于光电耦合器所采用的发光二极管(LED)与光电二极管的组合。由于其取消了光电耦合器中影响效率的光电转换环节,因此其功耗仅为光电耦合器的 1/10~1/50。采用了 iCoupler[®] 技术的数字隔离器利用平面磁场专利隔离技术,并采用 iCoupler[®] 变压器专利技术集成变压器驱动和接收电路,同时不再需要驱动 LED 的外部电路,因而在性能方面表现出色。

数字隔离器使用了芯片级制造工艺直接在芯片上制造 iCoupler[®] 变压器,只需一个芯片就能支持高速数据通信,同时能满足医用设备、高电压工业应用、电源以及其他高隔离度环境的严格隔离要求。iCoupler[®] 数字隔离器的隔离通道具有比光电耦合器更高的数据传输速率、时序精度和瞬态共模抑制能力,因此 iCoupler[®] 数字隔离器非常适合在各种工业上的应用,包括数据通信、数据转换器接口以及其他多通道隔离应用。

1.2 ADI 公司系列数字隔离器

ADuM1100 是 ADI 公司为高端工业市场推出的一种单通道 iCoupler[®] 数字隔离器,在功耗和性能方面明显优于光电耦合器。目前,ADuM1100 已经被许多以高速或低功耗应用为主业的公司所采用。不久前,ADI 公司为满足中等市场的需求,推出了每通道成本较低的多通道 iCoupler[®] 数字隔离器 ADuM130x 和 ADuM140x 系列产品。多通道 iCoupler[®] 数字隔离器与光电耦合器不同,它能在同一芯片内提供正向和反向通信通道。为了满足医用设备的严格隔离要求,ADI 公司又继续推出了一系列新的数字

隔离器件,如心脏除颤器和病人监视设备。ADuM240x 组件系列把 iCoupler[®] 产品的额定隔离电压从 2.5kV 提高到 5.0kV,同时其数据传输速率和时序精度的额定隔离电压为 5.0kV,是光电耦合器的 10 倍。可以看出,新的 iCoupler[®] 数字隔离器不但降低了每通道的成本,而且还是替代光电耦合器的最佳解决方案。本文详细介绍了以 ADuM1100 为例的数字隔离器的内部结构、功能特点及其应用。

2 ADuM1100 简介

ADuM1100 是一款基于 ADI 公司 iCoupler[®] 技术,采用高速 CMOS 和单片空芯变压器的数字隔离器。与光电耦合装置相比,该隔离器件具有更出色的表现,并且引脚封装可以与已有的高速光耦兼容。ADuM1100 可以支持数据传输的速度高达 25M~100Mbps,工作电压范围为 3.0V~5.5V,且传输延迟小于 18ns,不对称沿小于 2ns;工作最高温度为 125℃;功耗极低,静态电流小于 0.9mA (隔离双侧电流之和),数据传输时消耗的动态电流小于 160μA/Mbps。与其他的光耦不同,ADuM1100 还具有直流校正功能,可以输出一个周期性校正脉冲不断校正输出信号。ADuM1100 有三种不同的规格:ADuM1100AR 和 ADuM1100BR,两者的最高工作温度均为 105℃,最高传输速率分别为 25Mbps 和 100Mbps;ADuM1100UR 最高工作温度为 125℃,最高传输速率为 100Mbps。ADuM1100 芯片的主要性能参数如下:

- 高速:DC 时为 100Mbps。
- 工作电压范围:3.3V~5.0V。
- 电平转换器。
- 最高工作温度 125℃。
- 低功耗:

5V 工作时的最高功耗:在 1Mbps 速率下为 1.0mA;在 25Mbps 速率下为 4.5mA;在 100Mbps 速率下为 16.8mA。

3.3V 工作时最高功耗:在 1Mbps 速率下为 0.4mA;在 25Mbps 速率下为 3.5mA;在 50Mbps 速率下为 7.1mA。

- 8 引脚 SOIC 封装(提供无铅版本)。

集成电路应用

由于 ADuM1100 的性能优良, 现已经被广泛地应用于数字现场总线的隔离、光耦的替代产品、计算机外围接口以及微处理器系统接口等方面, 并在数据通信及数据转换接口方面也有广泛的应用。ADuM1100 的功能框图如图 1 所示。

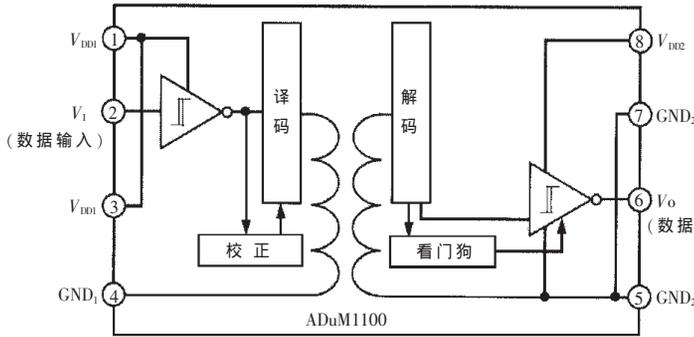


图 1 ADuM1100 功能框图

2.1 引脚与封装

ADuM1100 芯片为 8 引脚、SOIC_N 封装, 引脚如图 2 所示, 各引脚功能说明如表 1 所示。

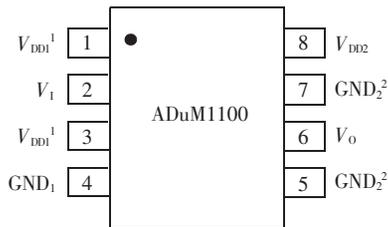


图 2 ADuM1100 引脚图

表 1 ADuM1100 引脚说明

引脚号	名称	说明
1	V_{DD1}	输入端源电压: 3.3V~5.0V
2	V_1	逻辑输入端
3	V_{DD1}	输入端源电压: 3.3V~5.0V
4	GND_1	输入端参考地
5	GND_2	输出端参考地
6	V_o	逻辑输出端
7	GND_2	输出端参考地
8	V_{DD2}	输出端源电压: 3.3V~5.0V

2.2 使用说明

2.2.1 PCB 板布局

ADuM1100 数字隔离器逻辑接口不需要任何外部接口电路, 建议使用者在输入和输出端的供电引脚各自加一个旁路电容, 输入端的旁路电容可以加在 1、4 引脚之间或 3、4 引脚之间 (更方便), 输出端的旁路电容可以加在 5、8 引脚之间或 7、8 引脚之间, 如图 3 所示。电容值应在 0.01~0.1 μ F 之间。需要注意的是, 电容管脚与器件电源引脚之间的距离不要超过 20mm。

2.2.2 传输延迟时间相关参数

传输延迟时间描述的是逻辑信号经过器件传输所需要

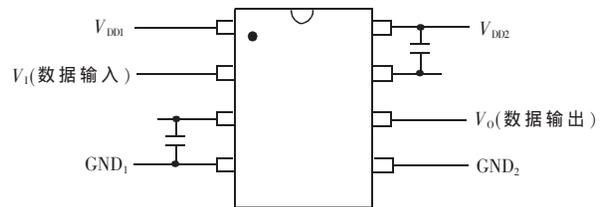


图 3 ADuM1100 的 PCB 板布局

的时间。低至高延迟时间(t_{PLH})是指器件输入端上升沿与输出端上升沿之间的时间差, 高至低延迟时间(t_{PHL})是指器件输入端下降沿与输出端下降沿之间的时间差, 如图 4 所示。

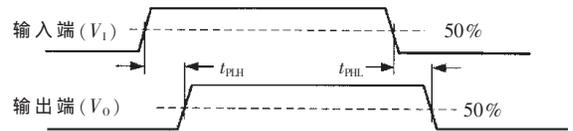


图 4 上升延迟和下降延迟

2.2.3 脉宽失真

脉宽失真 PWD (Pulse-Width Distortion) 是指低至高延迟时间 t_{PLH} 与高至低延迟时间 t_{PHL} 之间的最大差值, 它显示了信号经过器件输出后保持原样的精确程度。时延差 PDS (Propagation Delay Skew) 是指所有 ADuM1100 在相同温度、相同输出负载的工作状态下, 最大输出延迟与最小输出延迟之间的差值。传输延迟取决于输入信号的上升/下降时间, 测得的传输延迟以输入信号的 50% 为测量标准, 因此与真正的传输延迟 (从输入信号跳变开始计时) 有所差别。这是因为输入跳变的起始点经常是不同的电压值, 而非像 50% 那样是个固定的电压值, 这点与光耦中的应用一样。传输延迟的差异可由下列公式求出:

$$\Delta_{LH} = t'_{PLH} - t_{PLH} = (t_r / 0.8V_1)(0.5V_1 - V_{TH(L-H)})$$

$$\Delta_{HL} = t'_{PHL} - t_{PHL} = (t_f / 0.8V_1)(0.5V_1 - V_{TH(H-L)})$$

其中: t_{PLH} 和 t_{PHL} 是以输入信号的 50% 为测量标准测得的传输延迟; t'_{PLH} 和 t'_{PHL} 是以输入信号跳变开始测得的传输延迟; t_r 、 t_f 是以输入信号的幅值从 10% 一直达到 90% 所经历的时间, 定义为上升/下降时间; V_1 是输入信号的幅值 (设输入信号的电压值为 0~ V_1); $V_{TH(L-H)}$ 、 $V_{TH(H-L)}$ 是输入信号跳变的幅值。

如果输入信号的沿变化较慢, 也会通过影响 t_{PLH} 和 t_{PHL} 值的增大或减小而进一步影响测得的脉波歪斜。产生脉波歪斜变化的条件是值得注意的问题, 这里可以由下面的公式给出:

$$\Delta_{PWD} = PWD' - PWD = \Delta_{LH} - \Delta_{HL} = (t / 0.8V_1)(V - V_{TH(L-H)} - V_{TH(H-L)}), (t = t_r = t_f)$$

$$\text{其中: } PWD = |t_{PLH} - t_{PHL}|, PWD' = |t'_{PLH} - t'_{PHL}|.$$

上升/下降时间与脉宽失真变化量的函数关系如图 5 所示。

2.3 使用方法

2.3.1 直流校正

图 1 中的两组线圈起到脉冲变压器的作用, 变压器

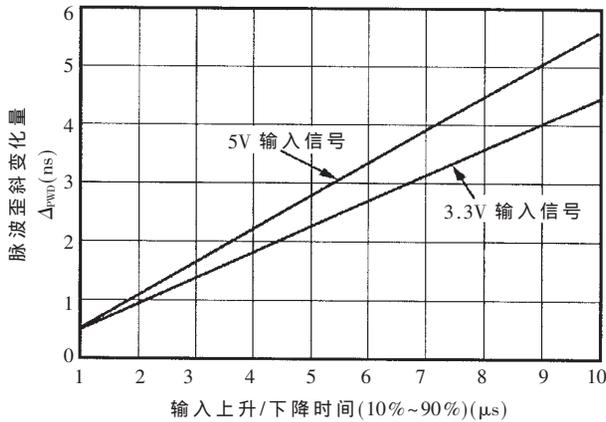


图5 由输入信号不同的上升/下降时间引起的典型脉宽失真

输入端逻辑电平的变化会引起一个窄脉冲(2ns),经过脉冲变压器耦合到解码器。如果输入端逻辑电平超过2μs都没有变化,则会自动产生一个适当极性的周期性校正脉冲,以确保变压器输出端的直流信号的正确性。如果解码器一端超过5μs没有收到任何校正脉冲,则就会认为输入端已经掉电或者不工作,这时看门狗定时器电路就会将隔离器输出端强行设置为高电平。

2.3.2 磁场抗干扰问题

当ADuM1100变压器的次级线圈产生很大的感应电动势时,会错误地使解码器置位或复位,这点体现了ADuM1100在磁场抗扰度方面的一个局限性。一般测试的是ADuM1100在3.3V时的工作条件,因为在这种工作环境下最容易受到干扰。变压器输出端的脉冲幅值一般大于1.0V,因此把解码器可以处理的最大幅值限定在0.5V左右,这样就可以多出0.5V的余量以确保更大的感应电动势,而又不会影响器件正常工作。次级线圈中感应电动势的大小可由下面的公式计算求得:

$$V = (-d\beta/dt) \sum \pi r_n^2, n=1, 2, \dots, N$$

其中: r_n 为次级线圈中第 n 匝线圈的半径(cm); β 为磁通密度(高斯); N 为次级线圈的匝数。

设给定ADuM1100次级线圈的尺寸,并要求感应电动势最多不得超过0.5V余量的50%,则可以根据上述公式计算出允许的最大磁通密度,如图6所示。

举例说明,当磁场频率为1MHz时,允许的磁场磁道密度最大为0.2kgauss,次级线圈的感应电动势为0.25V,正好是解码器电压幅值的50%,不会引起输出错误。同理,如果感应电动势产生于脉冲传输时(并且是最坏的情况即极性错误),它也会将脉冲幅值从大于1.0V减小到0.75V,这样即使电压超过了0.5V也能保证解码器正常工作。

隔离器前端的磁场强度与电流值及ADuM1100变压器的距离有关。电流值与器件距离的函数关系如图7所示。从图中可以看出,ADuM1100具有很好的抗干扰能力,只有在电流异常大、频率很高并且距离器件较近的

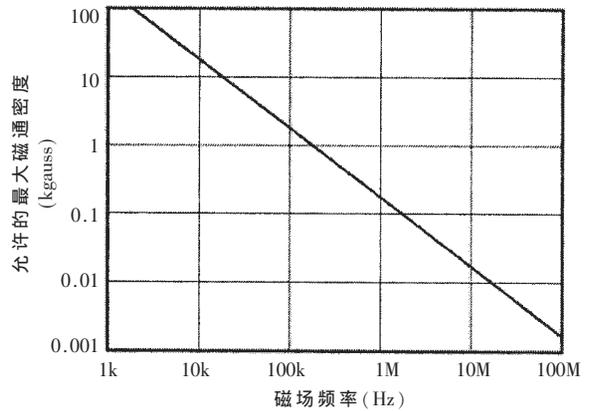


图6 允许的外部磁场情况

时候才会受到影响。在磁场频率为1MHz时,只有把一个0.5kA的电流放在距离器件5毫米处才有可能影响器件的工作。

考虑到强磁场和高频的综合作用以及PCB板上形成的环路都会感应出很大的电动势和电流,因此在PCB板的布局方面应多加考虑。

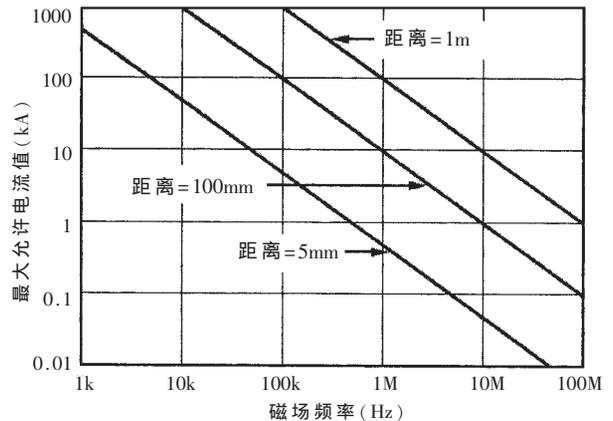


图7 最大允许电流值与ADuM1100的空间关系

2.4 功耗

ADuM1100的源电流是源电压、输入信号传输速率以及输出负载的函数。

输入端源电流计算公式:

$$I_{DDI} = I_{DDI(Q)}, f \leq 0.5f_r$$

$$I_{DDI} = I_{DDI(D)} \times (2f - f_r) + I_{DDI(Q)}, f > 0.5f_r$$

输出端源电流计算公式:

$$I_{DDO} = I_{DDO(Q)}, f \leq 0.5f_r$$

$$I_{DDO} = (I_{DDO(D)} + (0.5 \times 10^{-3}) \times C_L V_{DDO}) \times (2f - f_r) + I_{DDO(Q)}, f > 0.5f_r$$

其中: $I_{DDI(D)}$ 和 $I_{DDO(D)}$ 分别为输入端和输出端每个通道的动态源电流(mA/Mbps); C_L 为输出负载电容(pF); V_{DDO} 为输出端源电压(V); f 为输入端逻辑信号的频率(MHz)是输入数据速率的一半,不归零制编码传输(NRZ); f_r 为输入极刷新率(Mbps); $I_{DDI(Q)}$ 和 $I_{DDO(Q)}$ 分别为输入端和输出端的静态源电流。

3 应用设计

3.1 基于 iCoupler® 技术的数字隔离器在 CAN 总线中的应用

CAN 总线是一种有效支持分布式控制或实时控制的串行通信网络。由于 CAN 总线具有的特点,应用的领域也越来越广。CAN 总线典型应用于复合系统,并且经常在很远的距离之间传输。在传输过程中总线上的某些异常的电流和电压会引起很严重的后果甚至烧毁元器件,因此总线与各个系统之间的隔离就显得尤为重要。隔离可为 CAN 总线网络与连接的系统之间提供过电压保护,减少信号畸变和错误。为了保证系统的正常运行,每一个连接到总线上的系统或者每一个总线收发器都应有各自独立绝缘的“地”,以避免接地环路。为了保证系统的真正隔离,CAN 总线的信号传输线路和供电电源也应该隔离。电源的隔离可以使用 DC-DC 变压隔离器供电,信号的隔离可以通过光耦或本文介绍的 iCoupler® 数字隔离器实现。单通道的 ADuM1100 在 CAN 总线中的应用可如图 8 所示连接,同时也可选用多通道的数字隔离器(如 ADuM1301 为三通道 16 引脚数字隔离器),连接方法如图 9 所示。

设计中需要注意的是:为了保证这个电路的完全隔离,必须使用 DC-DC 隔离电源为系统的两边供电。

3.2 基于 iCoupler® 技术的数字隔离器在 RS-232 中的应用

由于 RS-232 标准主要应用于多个系统间的通信,

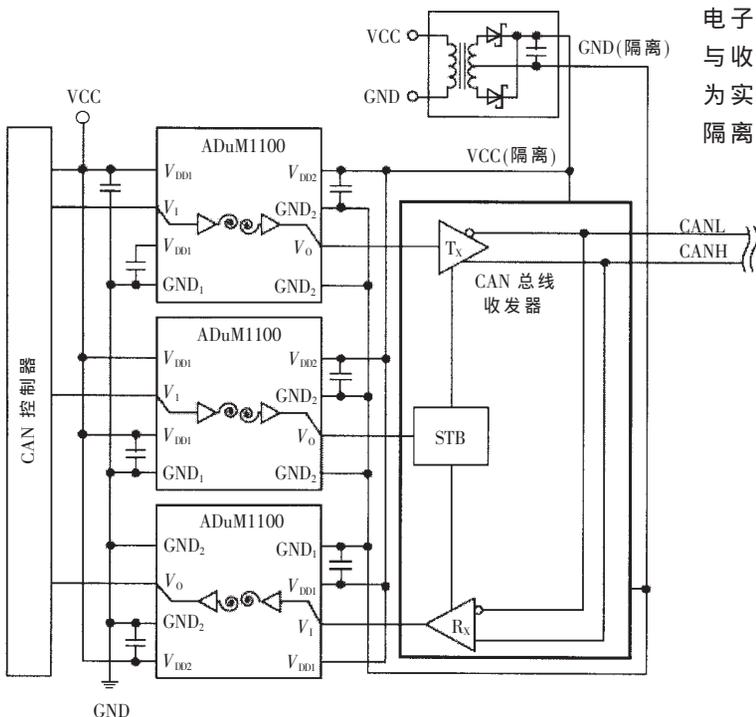


图 8 单通道数字隔离器 ADuM1100 在 CAN 总线中的应用

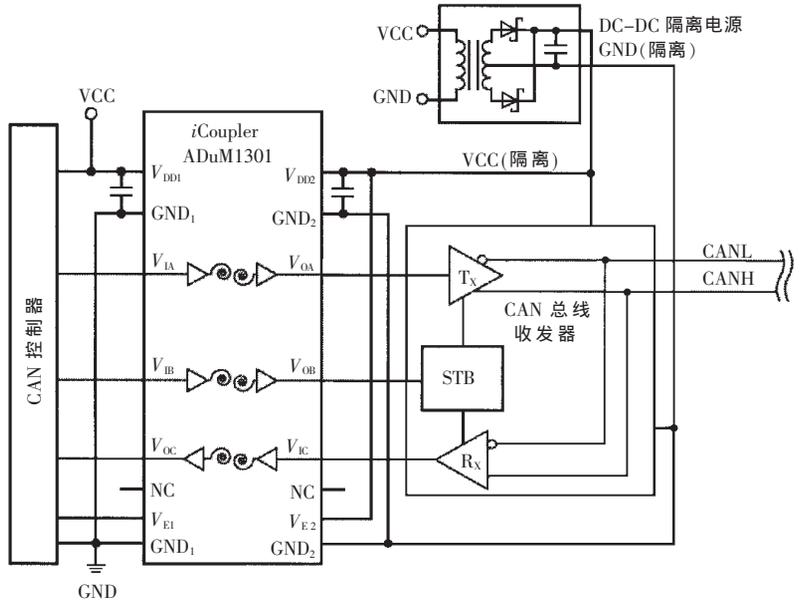


图 9 三通道数字隔离器 ADuM1301 在 CAN 总线中的应用

因此总线和每个连接系统之间的隔离就十分关键。数字隔离器可以为 RS-232 和连接的系统之间提供过电压保护,同时可以消除接地环路,减小信号畸变和错误。最简单的情况下,RS-232 只要用三条线路就可实现:Tx(传送数据)、Rx(接收数据)、GND(接地)。但是数字隔离器并不支持 RS-232 标准,所以它们不能用在收发器与总线之间,相反它们可用在传(收)发器与本地系统之间。收发器的系统端一侧连接到一个万用异步接收器/传送器(UART)或者连接到一个处理器,使用 0V~3V 或 0V~5V 逻辑电平。由于 iCoupler 隔离器的输入与输出电路是以电子隔离的方式来隔离彼此,因此可将其放置在 UART 与收发器之间作为将系统与总线隔离的一种简单方法。为实现这种隔离,还需使用一个 DC-DC 隔离变压器为隔离器和整个系统供电。以 ADuM1402iCoupler 数字隔离器为例,以 ADM232L 为 RS-232 收发器组成的隔离电路如图 10 所示。

3.3 基于 iCoupler® 技术的数字隔离器在 RS-485 中的应用

RS-485 总线通信模式具有结构简单、价格低廉、通信距离和数据传输速率适当等特点,因而被广泛应用于仪器仪表、智能化传感器等领域。RS-485 标准指定最高可驱动 32 对驱动器与接收器,可以驱动 4000 米的电缆,并且可以十分方便地将许多设备组成一个控制网络,特别是透过非常长距离的互连系统,和单端电路如 RS-232 相比,它提供更高的抗噪声能力。RS-485 的另一特点是具有一个使能(enable)功能,可以使驱动器置于高阻抗状态,这样就可以使多个驱动器共享一条总线而不出现连接问题。RS-485 一般用来连接多部系统,因此每部系统与总线之间的隔离是很

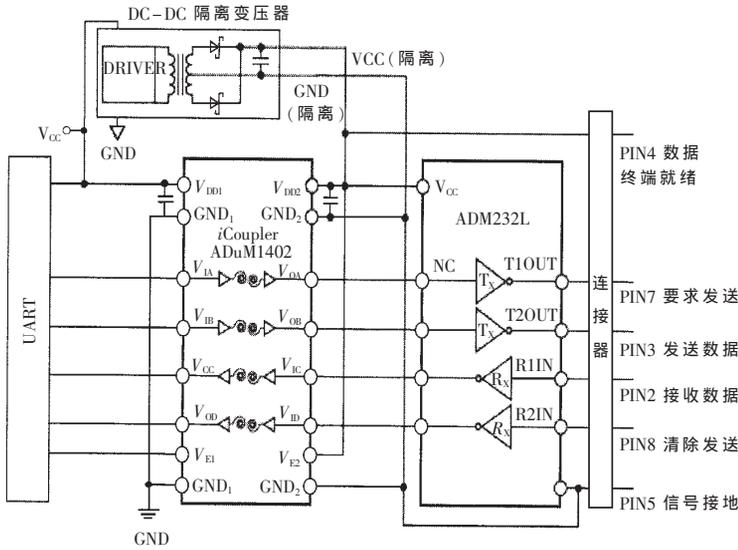


图 10 ADuM1402 在 RS-232 通信中的应用

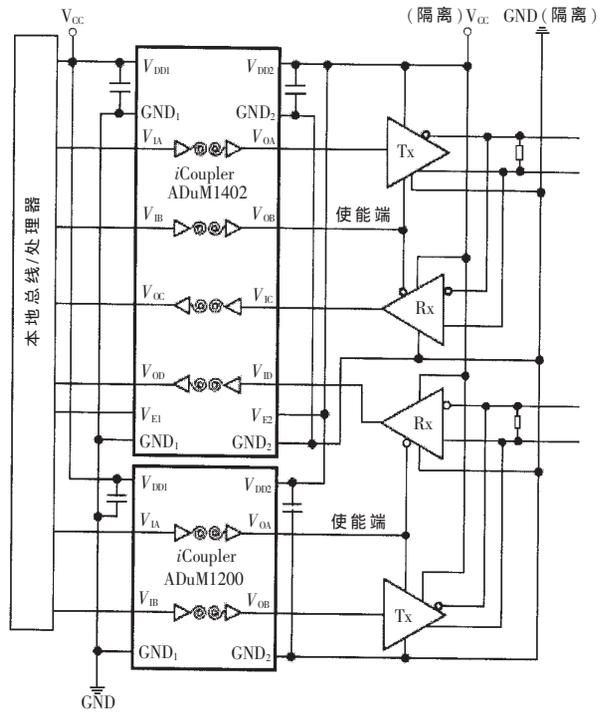


图 12 由一个 ADuM1200 和一个 ADuM1402 组成的全双工、双通道隔离系统

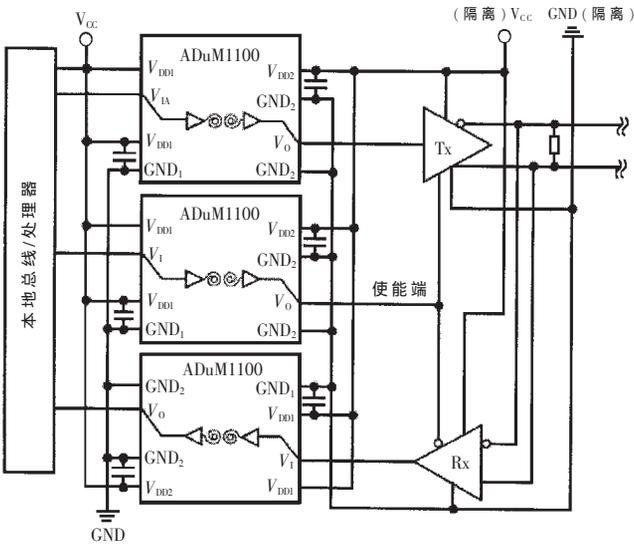


图 11 使用多个 ADuM1100 的半双工单通道隔离系统

重要的。由于 RS-485 与 RS-232 的隔离电路十分相似，这里只给出相关电路，如图 11 和图 12 所示。

参考文献

- 1 http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/437976755ADuM1100_f.pdf, 2001
 - 2 http://www.analog.com/UploadedFiles/Application_Notes/415561924AN770_0.pdf, 2003-07-23
 - 3 http://www.analog.com/UploadedFiles/Application_Notes/1001109498AN740_0.pdf, 2004-07-14
 - 4 http://www.analog.com/UploadedFiles/Application_Notes/58747441808320AN727_0.pdf, 2004-06-08
 - 5 李刚, 林凌, 现代测控电路, 北京: 高等教育出版社, 2004
 - 6 康华光、陈大钦, 电子技术基础, 北京: 高等教育出版社, 1999
- (收稿日期: 2006-04-14)