

CAN总线应用中的*iCoupler*®隔离

作者: Ronn Kliger和Sean Clark

简介

控制器区域网络(CAN)总线是设计用于工业应用的一种稳定的协议,最初针对汽车应用而开发。它规定最大电缆长度为40米,最大节点数为30。这种规范十分灵活,优势明显,因此其应用日益广泛。

由于CAN总线系统通常用于连接多个系统,铺设距离很长,因此总线和所连接的各系统之间的隔离非常关键。隔离可以防止CAN总线电缆网络与连接至总线的系统之间的过压瞬变造成破坏,同时消除网络中的接地环路,减少信号失真和误差,并防止电压/接地失配影响电路。

本应用笔记的目的是向用户简要介绍CAN总线协议,重点讨论系统物理层,并解释系统隔离的重要意义。本应用笔记还详细说明了如何在CAN总线系统中利用ADI公司的*iCoupler*产品实现隔离。

CAN总线概述

CAN总线协议

国际标准化组织(ISO)将CAN总线协议标准定义为串行通信双线总线,其数据速率最高可达1 Mbps。它使用两层:一是ISO11898所规定的差分信号物理层,用于提供出色的抗噪声干扰性能;二是数据链路层,用于定义信号如何交互和通信。

数据帧

CAN总线协议采用异步数据传输设计。传送的数据通过数据帧发送,每次传输的开始和结束由起始位和停止位控制。

数据帧由下列字段组成:仲裁字段、控制字段、数据字段、循环冗余校验字段和应答字段。帧以帧起始“显性”位开始,并以帧结束字段(位)结束,如图1所示。



图1.CAN总线数据传输帧

CAN总线仲裁

CAN总线协议还规定了无损位仲裁方法,确保数据不会丢失。它是该协议最重要的特性之一。

CAN总线协议对总线上的数字逻辑状态进行了规定,将逻辑高电平状态定义为隐性状态,将逻辑低电平状态定义为显性状态。这样设计的目的是允许每个节点都能同时执行侦听和发送。

所有节点都会在每条消息开始时发送一个显性消息起始(SOM)位。其他节点会注意到总线活动,在消息包传送完毕之前,不会尝试启动传输。

SOM位之后是仲裁字段。该字段为11位或29位长,取决于所用CAN总线协议的版本。

如果某条消息的优先权最高,则其仲裁字段的显性位数也最多。它将首先传输一个显性位,而其他节点则传输隐性位。

仲裁字段也称为识别符,用于确定消息在总线上的优先权。仲裁字段发送完毕时,除优先权最高的节点以外的所有节点都将已经停止传输。

如果多个节点同时开始传输,则总是由发送最多数量显性位的节点控制总线。所有节点都监控总线,并在发现有更高优先权的传输时停止传输。

其他节点在该消息传输完毕后尝试再次传输。在第二次尝试中,仲裁字段值次高的节点控制总线,仲裁过程再次重复。

这种无损总线仲裁方法可确保优先权最高的消息始终得以传送。

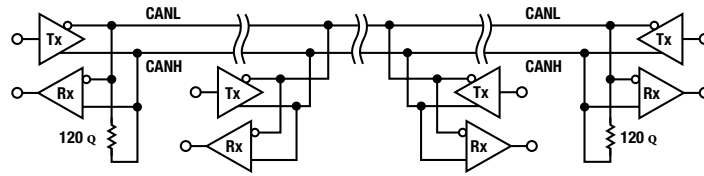


图2. CAN总线网络

CAN总线类型

第一次公布的CAN总线标准采用ISO11519，针对最高125 kbps的数据速率而设计，一般将其称为低速CAN标准。第二次公布的CAN总线标准采用ISO11898，针对125 kbps到1 Mbps的信号速率而设计，一般将其称为CAN 2.0A标准。这两种标准规定的仲裁域均为11位。

最新的CAN总线标准是2.0B版。除了规定29位长的仲裁域之外，该标准与2.0A完全相同。

CAN总线物理层

其物理层是一个平衡或差分双线式串行接口(图2)。大多数CAN系统都是采用5 V电源电压设计，但也有一些系统采用3 V电源电压设计。

差分双线式总线上的数据通信采用不归零(NRZ)编码。这可确保消息结构紧凑，传输次数最少，并且具有高抗扰度。

CAN总线规范定义了从10 kbps到1 Mbps的多种数据速率，但所有系统模块都必须支持20 kbps数据速率。

ISO11898标准规定总线长度最长40米，分支线长度最长0.3米，节点数最多30个。然而，CAN总线物理层的鲁棒设计允许使用长得多的电缆。通过精心设计，总线电缆长度可达1,000米。随着总线长度增加，最大数据速率会相应地有所降低。

系统最高速度取决于总线电缆长度。1 Mbps对应的最大电缆长度为40米。一个采用11位识别符的8字节帧的最差情况传输时间为134位时间；若以1 Mbps的最大波特率传输，该时间相当于134 μs。

工作原理

CAN总线收发器采用独特的开漏设计(图3)。

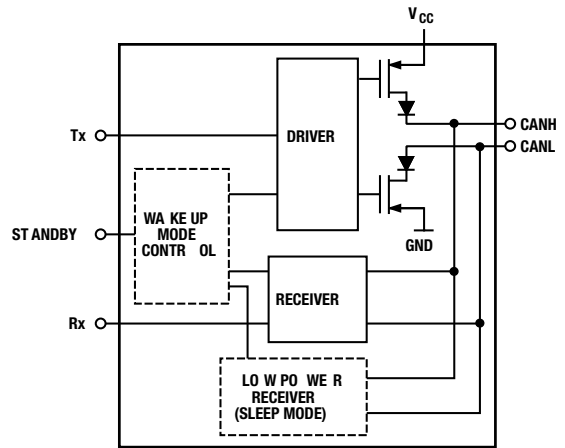


图3. 典型的CAN收发器，包括低功耗待机模式电路

驱动器采用一对开漏器件在总线上构建一个差分信号，包括CANH(高)和CANL(低)。这两个信号的结合产生总线上的主动信号电平。主动信号电平代表逻辑低状态。如果没有发射器来驱动，则利用上拉电阻将总线电平设置为 $V_{CC}/2$ 。 $V_{CC}/2$ 电平是被动信号总线电平，代表逻辑高状态(图4)。

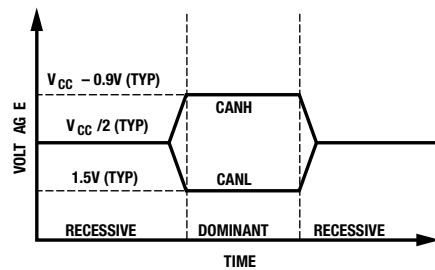


图4. CAN总线信号

在显性状态期间，有效驱动器将CANH线配置为高电平，将CANL线配置为低电平。CANH的差分信号电平典型值为 $V_{CC} - 0.9\text{ V}$ ，CANL为地以上1.5 V。

可以使用外部上拉电阻来配置总线的隐性状态。许多CAN总线收发器都在内部将驱动器输入引脚和接收器输出引脚被动拉高。

CAN总线收发器的非总线侧连接到CAN控制器或一个处理器。收发器这一侧上的信号为标准0 V至5 V或0 V至3 V逻辑电平。

许多收发器在处理器侧还有一个待机控制输入端，允许控制器将收发器置于低功耗待机模式，以降低系统功耗。低功耗接收器在待机模式期间仍然有效，以便监控总线的状态变化。当检测到总线活动时，接收器向控制器发送信号，以激活本地CAN节点。

端接

电缆每一端都需要端接电阻。差分电缆之间的标准端接电阻为120 Ω ，电缆每一端都进行端接。这种布局产生标称值60 Ω 的总线负载，符合ISO11898的要求。

容错

CAN总线标准建议(但不要求)收发器应当能够耐受多种故障情形，包括总线线路相互短接、对电源短接或对地短接。收发器针对这些情况提供的典型保护电压范围在-4 V至+16 V之间，但不能认为所有收发器都提供容错能力。建议用户仔细查阅数据手册中的技术规格。

系统隔离概述

连接两个系统的电缆总线上若出现不需要的电流和电压，可能会导致严重问题。高电压和高电流可损坏连接至总线的元器件。这些电压和电流主要有两个来源：接地环路和电力线浪涌。这些电压可能远远超过CAN总线推荐的故障保护水平。

如果总线或系统利用多个接地路径，就会产生接地环路。连接至总线的两条系统地线相隔数米或更远，不太可能处于相同电位，因此电流将在这两个位置之间流动。这种非预期的电流会损坏甚至毁坏系统元件。

电涌可能由多种原因引起，它们是电流通过感应方式耦合到电缆上的结果。工业环境中的长电缆线路和系统尤其易受电涌的影响。

电动马达等有较大电流开关的设备工作时会造成接地电位迅速变化。这类变化会在任何附近的线路中产生电流以使接地电位相等。

其他感应电涌源还包括静电放电(ESD)和雷击。这些感应产生的电涌会在线路上产生数百、甚至数千伏电位，表现为瞬态电流和电压浪涌。

这导致的结果是，电缆末端节点可能收到一个开关信号，叠加在相对于其本地接地为高电压的电平上。这些不受控制的电压和电流会破坏信号，并且对本地收发器元件和系统而言可能是灾难性的，会造成连接至总线的元件损坏并导致系统故障。CAN总线系统通过40米或更长的电缆运行并互连多个系统，因此极易受这类事件影响。

为防范此类潜在性的破坏，总线上以及连接至总线的系统上的所有设备都必须参考同一地线。也就是说，连接至CAN总线的系统和每个CAN总线收发器都具有独立且隔离的地。CAN总线系统参考同一地线可消除接地环路，从而防止接地环路和电涌破坏电路。

隔离还允许CAN总线电路基准电平随电缆线路上出现的任何电涌而上升或下降。允许电路基准电压源随浪涌移动，而不是将其箝位于固定地，可防止器件受到损坏或毁坏。

要实现系统隔离，必须隔离CAN总线信号线路和电源。可通过隔离式DC-DC电源获得电源隔离。信号隔离可通过光耦或ADI公司的创新产品*iCoupler*来实现。

隔离的实现

隔离的实现方式并不十分复杂，但设计人员在实现隔离电路时必须考虑多个重要因素。

CAN总线要求通过电阻连接实现隐性状态(通常为 $V_{CC}/2$)，并要求通过CANH和CANL的组合实现显性状态。数字隔离器并不支持这种信号标准。因此，无法在CAN总线收发器与电缆之间插入数字隔离器。

CAN总线信号路径隔离通过在收发器和本地CAN总线控制器之间的数字信号路径中设计隔离器来实现。CAN总线收发器的系统侧利用0 V至5 V或0 V至3 V的数字逻辑电平信号，一般连接至CAN控制器或处理器。*iCoupler*隔离器包括相互隔离的输入电路和输出电路。在此位置放置*iCoupler*可实现CAN总线电缆信号与连接至其上的每个系统的电气隔离。

AN-770

为完成CAN总线电路与本地系统的隔离，无论采用*iCoupler*还是光耦，都需要使用DC-DC隔离电源转换器。隔离电源用于为本地CAN总线收发器和隔离器的CAN总线侧供电。隔离电源一般由本地系统提供。

数字隔离器和DC-DC隔离电源结合使用，可有效防止电涌损坏电路并消除接地环路。图5说明应用*iCoupler*集成的典型CAN总线系统配置中的系统隔离设计。

隔离器件选择

系统性能要求是影响隔离器件选择的最重要因素。其他考虑因素还包括空间限制和成本。

数据速率要求

系统数据速率要求可能是唯一最重要的器件选择参数。

CAN总线规范定义了两个最大数据速率：125 kbps和1 Mbps。幸运的是，所有*iCoupler*产品都以高达1 Mbps的数据速率运行。*iCoupler*产品系列还包括数据速率高达10 Mbps、25 Mbps和100 Mbps的器件。

器件成本一般与数据速率性能成正比。因此，设计人员应注意，器件性能满足需要即可。不过，选择低性能器件会使未来的系统性能升级更复杂并且成本更高，因为任何不能与升级的系统数据速度兼容的器件都需要进行替换。

ADI *iCoupler*产品的传播延迟显著短于光耦。更短的传播延迟意味着处理器与总线之间的信号响应时间更快。这在仲裁期间特别重要，因为每个节点必须决定哪一条消息享有优先权并控制总线。因此，传播延迟时间将决定以所需数据速率工作的总线的最大容许线路长度。

空间要求

几乎所有应用都对最大尺寸有所要求，某些方案可能面临空间严重受限的问题，幸好现在有机会来解决这些问题。

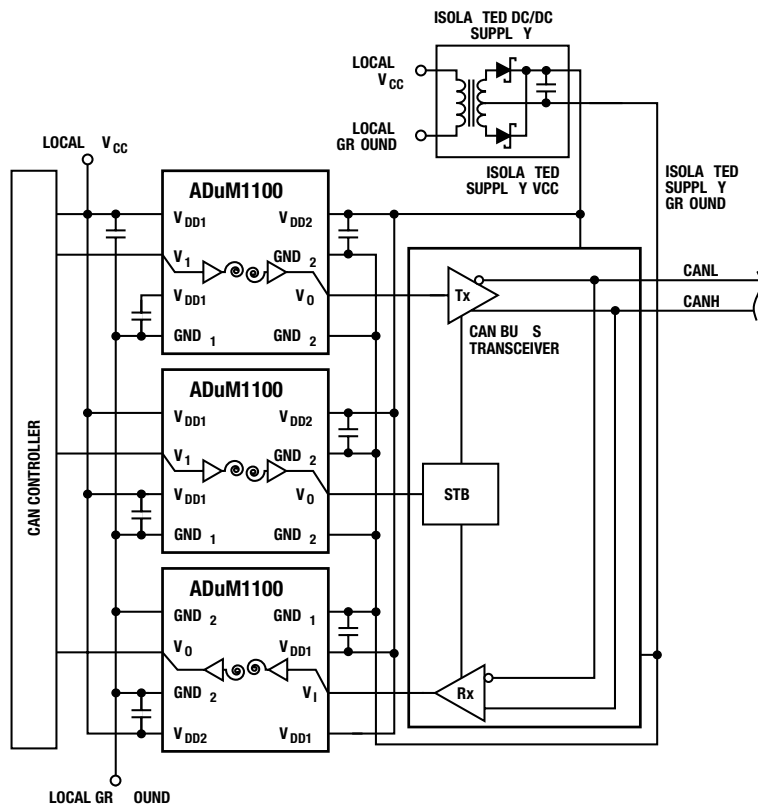


图 5. 采用三个ADuM1100的CAN总线隔离

系统空间问题的解决方案包括ADuM1301，它是一款16引脚SOIC封装的3通道隔离器件，可取代三个光耦合器和相关电路(图6)。

成本要求

几乎所有系统设计工作中都难免遇到成本问题，必须对此加以考虑。成本因素影响着系统设计的选择。如上所述，隔离器的成本与数据速率性能成正比。只根据系统性能要求指定器件可以降低成本。

其他成本问题包括使用器件数量的考量，iCoupler器件的成本随通道数增加而增加。但是，单位通道的成本随器件通道数增加而降低。

在单一器件中集成尽可能多的通道所带来的额外成本优势还包括电路板空间成本和装配成本。器件数越少，电路板就越小。而且，一般而言，器件数越少，电路板的布局就

越简单。更小的尺寸与更简单的布局可以降低电路板的成本。此外，电路板装配成本一般随装配过程所需器件数的减少而成比例下降。因此，使用较少的器件进行设计可以实现更低的制造成本。

ADI iCOUPLER产品

与市面上的其他隔离产品相比，基于ADI iCoupler技术的产品为系统设计者带来多项显著优势。iCoupler产品性能优越，功耗更低，可靠性更高并且元件数更少，产品的成本特性可以与光耦相媲美。

ADI iCOUPLER技术概述

与光耦使用LED和光电二极管不同，ADI公司独一无二的iCoupler技术提供的隔离基于芯片级变压器。通过使用晶圆级工艺直接在片内制造变压器，iCoupler通道能以较低成本相互集成以及与其它半导体功能集成在一起(图7)。

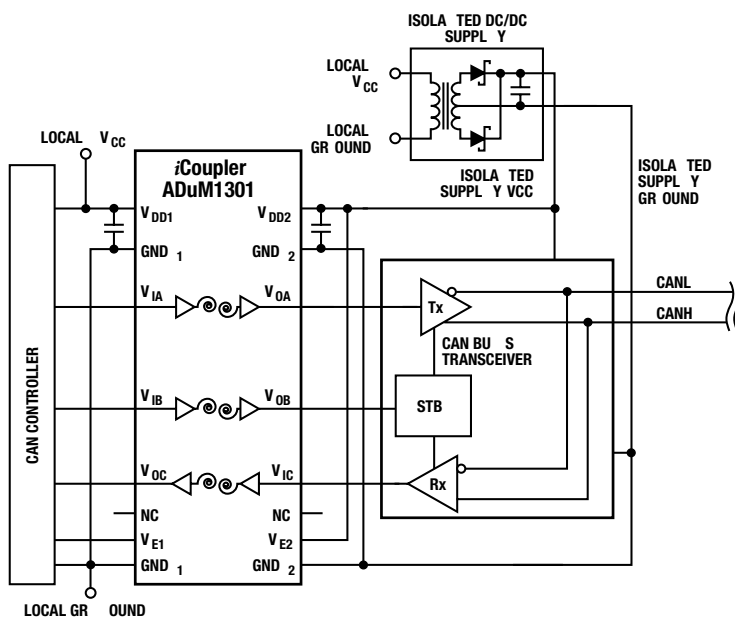


图6.采用ADuM1301的CAN总线节点网络隔离

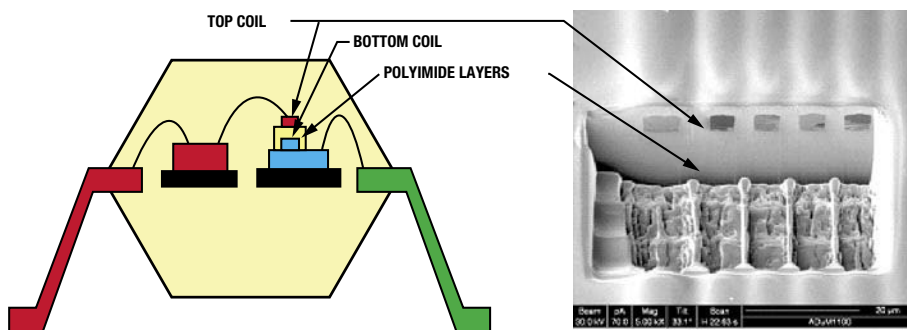


图7.iCoupler配置的截面图

AN-770

iCoupler设计中使用的技术省去了光耦中发生的低效率光电转换。这是因为iCoupler无需光耦合器中使用的LED。同时，由于通道完全采用晶圆级工艺制造，多个iCoupler通道可轻松集成在单个封装内。iCoupler技术提高了性能，降低了功耗，缩小了尺寸，并增加了可靠性和成本优势。

iCoupler与光耦相比的另一大独特优势是省去了外部元件。除旁路电容以外，光耦还需要外部分立器件来偏置输出晶体管并驱动LED，而iCoupler器件除了去耦电容以外不需要任何外部元件。iCoupler解决方案可以降低电路复杂性，减少成本。

iCoupler产品还整合了独特的刷新电路和看门狗电路。

在输入端没有高于2 μs的逻辑转换的情况下，生成一组指示正确输入状态的周期性刷新脉冲，以确保输出端的直流正确性。如果iCoupler输出端电路接收不到高于大约5 μs的脉冲，则输入端电路被认为是未加电或不工作，在这种情况下，看门狗定时器将使隔离器输出强制为默认状态。

ADI iCoupler选择

iCoupler系列包含广泛的产品组合，允许系统设计人员选择非常适用于设计的产品。此外，iCoupler结合了丰富的特性和选项，允许以更少的器件设计系统。

iCoupler系列提供1通道至4通道产品选择，并且包括设计用于双向通信、可增强直通式电路板设计的器件。还有针对各种数据速率性能的相应iCoupler器件可供选择。

表I所示为产品选项比较，包括通道数量和数据速率性能。

表I. iCoupler和隔离RS-485收发器产品

产品	型号	通道数	通道配置*	UL隔离额定值 (kV)	最大数据速率(Mbps)、5 V	最大传播延迟(ns)、5 V	最大工作温度 (°C)	封装
ADuM1100	ADuM1100AR	1	1/0	2.5	25	18	105	8 引脚窄体 SOIC
	ADuM1100BR	1	1/0	2.5	100	18	105	8 引脚窄体 SOIC
	ADuM1100UR	1	1/0	2.5	100	18	125	8 引脚窄体 SOIC
ADuM120x	ADuM1200AR	2	2/0	2.5	1	150	105	8 引脚窄体 SOIC
	ADuM1200BR	2	2/0	2.5	10	50	105	8 引脚窄体 SOIC
	ADuM1200CR	2	2/0	2.5	25	45	105	8 引脚窄体 SOIC
	ADuM1201AR	2	1/1	2.5	1	150	105	8 引脚窄体 SOIC
	ADuM1201BR	2	1/1	2.5	10	50	105	8 引脚窄体 SOIC
	ADuM1201CR	2	1/1	2.5	25	45	105	8 引脚窄体 SOIC
ADuM130x	ADuM1300ARW	3	3/0	2.5	1	100	105	16 引脚窄体 SOIC
	ADuM1300BRW	3	3/0	2.5	10	50	105	16 引脚窄体 SOIC
	ADuM1300CRW	3	3/0	2.5	90	32	105	16 引脚窄体 SOIC
	ADuM1301ARW	3	2/1	2.5	1	100	105	16 引脚窄体 SOIC
	ADuM1301BRW	3	2/1	2.5	10	50	105	16 引脚窄体 SOIC
	ADuM1301CRW	3	2/1	2.5	90	32	105	16 引脚窄体 SOIC
ADuM140x	ADuM1400ARW	4	4/0	2.5	1	100	105	16 引脚窄体 SOIC
	ADuM1400BRW	4	4/0	2.5	10	50	105	16 引脚窄体 SOIC
	ADuM1400CRW	4	4/0	2.5	90	32	105	16 引脚窄体 SOIC
	ADuM1401ARW	4	3/1	2.5	1	100	105	16 引脚窄体 SOIC
	ADuM1401BRW	4	3/1	2.5	10	50	105	16 引脚窄体 SOIC
	ADuM1401CRW	4	3/1	2.5	90	32	105	16 引脚窄体 SOIC
	ADuM1402ARW	4	2/2	2.5	1	100	105	16 引脚窄体 SOIC
	ADuM1402BRW	4	2/2	2.5	10	50	105	16 引脚窄体 SOIC
	ADuM1402CRW	4	2/2	2.5	90	32	105	16 引脚窄体 SOIC

* 通道配置表示隔离通道的方向。例如，2/1表示两个通道在同一方向上通信而第三通道在相反方向上通信。

旁路电容

除旁路电容外，*iCoupler*产品不需要任何外部元件。我们强烈建议将旁路电容用于输入和输出电源引脚。旁路电容值应在0.01 μ F和0.1 μ F之间。电容末端和电源引脚末端之间的总引脚长度不应超过20mm。

输出使能控制

许多*iCoupler*产品都具有输出使能控制引脚(VEX)，以允许输出处于高阻抗状态。输出使能引脚处于高电平状态或浮空态时，输出处于有效逻辑状态。输出使能引脚处于低电平状态时，输出被禁用。建议在噪声较高的应用中将输出使能引脚拉至一个确定的逻辑电平(高电平或低电平)。

小结

CAN总线规范的灵活性和高抗噪声干扰能力使该协议得以普遍应用于系统间通信。然而，系统间通信电缆系统很容易受过压瞬变和接地环路的干扰和破坏。

以数字方式将CAN总线与连接至总线的各系统隔离开来，可减少信号失真和误差，并防止系统和元件受系统和总线电压及接地失配影响。

ADI公司的*iCoupler*系列产品性能全面，通道数和配置形式灵活多样。性能和通道配置的组合为系统设计人员提供了多种选择，有助于其优化系统设计。*iCoupler*产品为在系统设计中加入关键隔离技术提供了经济有效的方法。

