

控制器局域网 (CAN) 物理层调试基础知识

作者: Scott Monroe, 德州仪器 (TI) 工业接口系统工程师

引言

控制器局域网 (CAN) 标准不断发展, 正用于车载和工业网络之外的许多新应用。支持它的微处理器变得普遍且价格低廉, 并且开源协议栈让其非常容易访问, 同时也容易添加至新系统。有许多CAN板可用于 BeagleBone (Capes)、Stellaris® (BoosterPacks)、Arduino (Shields) 和其他微处理器开发平台。当设计人员的系统上电却不能工作时, 应该怎么办呢? 本文为您介绍一种对CAN物理层进行调试的较好工程方法。我们将介绍基础调试步骤, 并说明一个CAN物理层应有的性能, 以及找出问题的一些小技巧。

调试基础知识

ISO11898-2和ISO11898-5规范详细说明了高速CAN物理层即收发器。掌握CAN物理层的基础知识以后, 利用简单的调试工具便可迅速地找出常见问题。所需的基本实验室工具为示波器、数字万用表 (DMM) 和一个电源。如果想要深入了解问题, 则需要更高

精度和更复杂的工具。这种问题已非本文讨论的范畴, 但是这里介绍的基础知识可帮助确定问题所属类别, 以及进一步调试所需的其他工具。一个由 TI 组装的CAN演示系统以及TI的SN65NVD255D评估模块 (EVM)¹, 用于演示硬件。另外, 我们还使用了其他一些东西, 例如: CAN连接器外接头电缆和芯片钩 (抓住收发器引脚, 让其连接至电缆, 以更加容易地连接示波器指针, 如图1所示)。

连接检查

开始调试对话时, 使用DMM确认印刷电路板 (PCB) 上连接如我们所预计的那样一系统未上电。这看似很基础, 但令人吃惊的是, 这个简单的方法却解决了许多简单问题。所有人都会认为原理图、布局和制造工艺没有问题, 但不幸的是, 它们有时却并不如人愿。子插件板位置错误、虚焊和错误端接或者连接的电缆, 都是一些常见问题。利用DMM电阻设置来确认所有线路和连接均正确。图2所示CAN应用的简易原理图用作参考。

图1 CAN物理层调试基本工具



表1列举了需要检查的PCB和网络连接。收发器引脚和PCB上其他相关连接之间的电阻应为 $0\ \Omega$ ，除非设计使用表注里介绍的一些选项。例如，限流串联电阻器、总线端接电阻器或者数字I/O的上拉或下拉电阻器。

总线端接检查

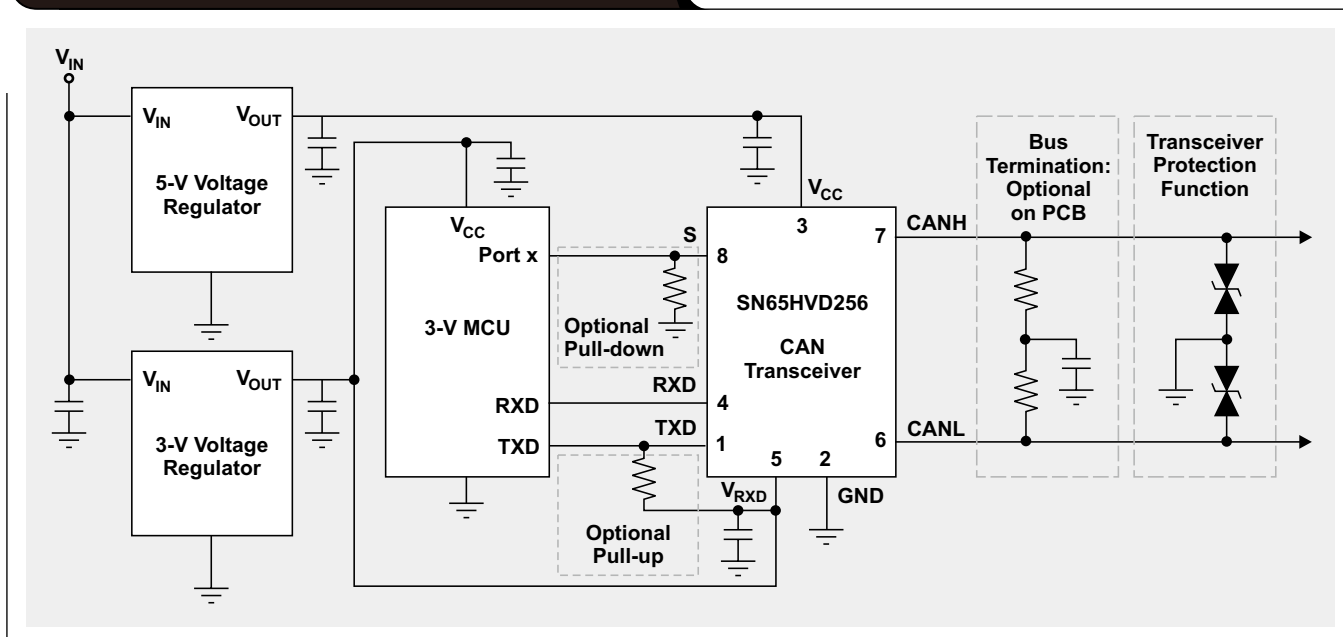
大多数CAN标准均规定使用一条单双绞线（有或者无

屏蔽层），其特性阻抗（ Z_0 ）为 $120\ \Omega$ 。应使用与线路特性阻抗相同的电阻器来端接电缆两端，以防止信号反射。端接可以为电缆上总线端的单 $120\ \Omega$ 电阻器，如图3中CAN总线左侧所示；或者，它也可以位于某个端接节点内，如图3右侧所示。不得将端接电阻从总线移除。如果CAN端接电阻负载不存在，则信号完整性会受到影响，并且无法满足比特计时要求。如果

表1 PCB和CAN收发器连接总结

CONNECTION	COMMENTS
Ground	The transceiver GND should be connected to the PCB ground plane.
Power Supply (V_{CC} , V_{IO} , V_{RXD})	The V_{CC} on the transceiver should be connected to the voltage regulator's output. One should be careful in multirail designs: The V_{CC} of the transceiver may be 5 V or 3.3 V, depending on the CAN transceiver family. Some 5-V CAN transceivers have an I/O level-shifting pin (V_{IO} or V_{RXD}).
Transmit Data (TXD or D)	If a current-limiting series resistor is used, that is the expected resistance value. The TXD may need a pull-up to the V_{CC} if an open-drain output on a microprocessor is used.
Receive Data (RXD or R)	If a current-limiting series resistor is used, that is the expected resistance value.
Mode	<p>R_S, S, STB, EN, AB, or LBK may be available, depending on the specific CAN transceiver. R_S provides three modes of operation that need to be checked:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>High-speed mode</i>. There should be a connection to ground or low from the microprocessor's output pin. 2. <i>Slope-control mode</i>. There should be a pull-down resistor to ground between 10 and 100 kW. 3. <i>Low-power mode</i>. There should be a logic high via a pull-up resistor or via the output from the microprocessor's output pin. <p>The other pins are digital inputs with logic-low and -high thresholds that may be either driven by a microprocessor output or pulled high or low via a resistor. It should be verified that the device is in the proper mode.</p>
V_{REF} or SPLIT pin	Some transceivers may have a $V_{CC}/2$ output reference. It may be floating, connected by a bypass capacitor to ground, or used to actively drive split termination. The application use should be verified.
CAN Bus (CANH, CANL)	The transceiver's CANH and CANL pins should be connected to the respective pins on the CAN bus. More information is provided under "Checking bus termination" in this article.

图2 CAN应用简易原理图



总线共模电压滤波和稳压理想，则使用分裂端接，如图2所示。在该图中，每个电阻器均为 $60\ \Omega$ ，而分裂电容器范围为 $1\ \text{nF}$ 到 $100\ \text{nF}$ ，具体取决于共模滤波器所需的频率。²CANH到CANL的测得电阻应介于 $45\ \Omega$ 到 $65\ \Omega$ 之间，以达到CAN标准、两个端接电阻器的并联阻抗以及并关节点输入电阻的容差。应根据可能碰到的极端故障状态（通常为系统接地的电源电压）来确定端接电阻器的额定功率。

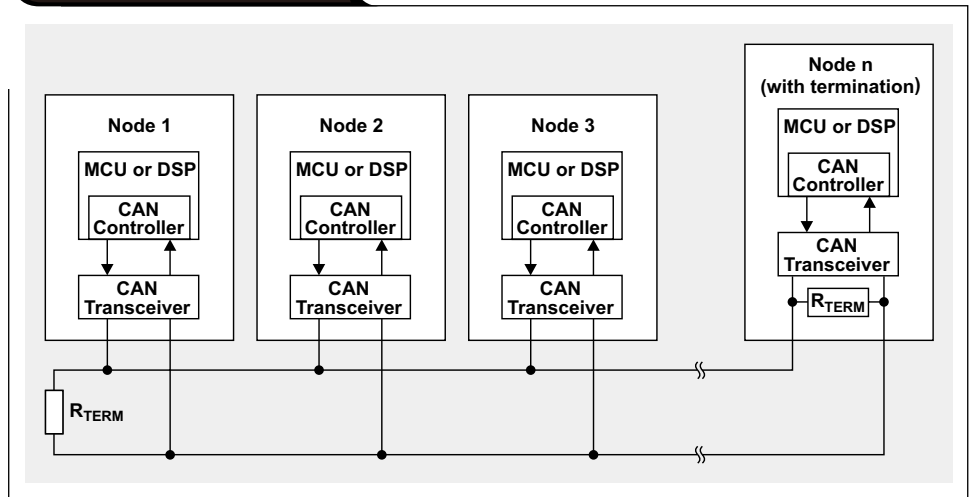
电源检查

在系统上电以前，应首先检查CAN收发器的一个或者多个电源。根据所使用的收发器类型， V_{CC} 应为 3.3V 或者 5V 。不管您相不相信，在一些情况下，丢失 V_{CC} 确实为问题的根本原因。因此，我们应确保 V_{CC} 存在于收发器的 V_{CC} 引脚上。只需检查DMM，便可确认有电源存在。必须注意电源短路接地（不幸的是，该引脚就在 V_{CC} 引脚的旁边）。

显性状态（ $60\ \Omega$ 总线负载时约为 60mA ）和隐性状态（ 10mA ）之间所需电流（ I_{CC} ）差约为 50mA 。显性总线状态期间端接电阻差分电压的产生需要这 50mA 的电流差，并且其随总线负载变化而变化。DMM还可用在电流模式下，以验证预计 I_{CC} 电源电流。由于CAN的开关性质，DMM测得的电流伪平均读取值。

建议本地旁路电容器至少应为 $4.7\ \mu\text{F}$ ，以确保总线状态转换期间有足够的电源缓冲。否则，收发器的突入电流可能会引起明显的电压电源纹波。我们可以使用一个示波器来验证电源电压是稳定，还是随着总线状态变化而变化。转换期间，最好不要让收发器“饥饿”。收发器受到其限流的保护，但是，当收发器试图驱动总线至显性状态时，如果其中一条总线短路至电源或者接地，则电源电流极高。如果电压调节器无法提供这么多的电流，则电压电平降至收发器规格范围以下，甚至可能会低至触发收发器的欠压锁定状态。

图3 典型CAN总线

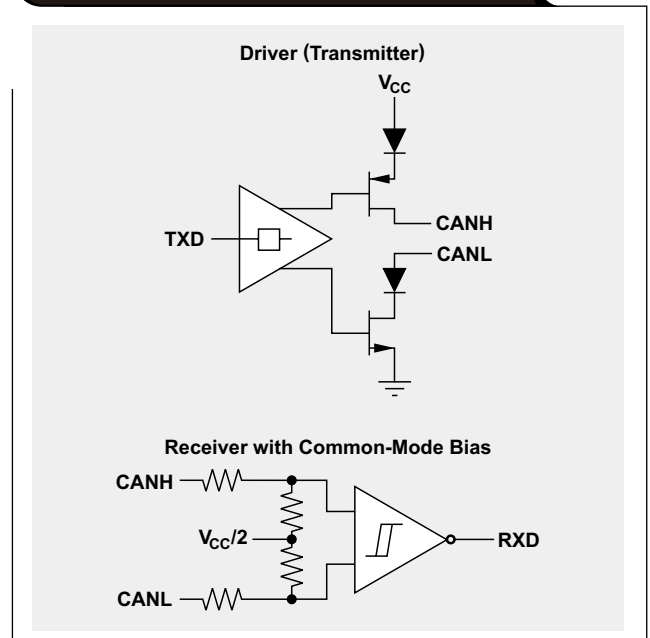


CAN物理层基础知识

一旦完成所有基础检查，就可以检查CAN物理层的核心CAN总线了。收发器的两个关键组件便是接收器和发射器。发射器被称作CAN的驱动器。通过 $V_{CC}/2$ 共模点（约 2.5V ）对CAN物理层偏置，见图4。

收发器将单端数字逻辑信号、TXD（或者D）和RXD（或者R）转换为差分CAN总线所要求的电平。当总线为显性时，在接收节点，其CAN标准定义的差分电压（ $V_{diff(D)}$ ）大于 1.2V ，并且处于逻辑低状态。当总线为隐性时，在接收节点，其CAN标准定义的差分电压（ V_{diff} ）

图4 简易CAN总线收发器



(R)) 为 $-120\text{mV} \leq (V_{\text{diff}(R)}) \leq 12\text{ mV}$ ，并且处于逻辑高状态。两种总线状态均通过收发器内共模网络偏置。图5显示了典型的总线层级。

对总线进行调试时，最为有用的工具之一便是示波器。尽管单通道示波器便可看到信号，但最好还是用双或者四通道。理想情况下，可同时看到TXD、RXD、CANH和CANL，以确保收发器和总线性能如预期。进行初次调试时，只需一个低带宽示波器，因为标准CAN被限定在1Mbps。（在不远的将来，在引入拥有灵活数据速率的CAN以后，这种情况将有所改变。）如果该节点正发送数据比特流，则可在TXD输入端看到输入数据。差分CAN总线引脚（CANH/CANL）存在传输延迟，同时还存在RXD输出传输延迟。在CAN中，这些延迟均为循环时间，或者说循环延迟。如果该节点正在接收，则TXD闲置；但是总线和RXD输出会显示CAN帧。

为了演示基础CAN总线工作情况，图6显示了一个示波器，它拥有两个模拟通道和两个数字通道，以及一个函数生成器。CAN总线由两个SN65HVD255D EVM组成，每个在总线上的端接电阻均为120Ω。示波器函数生成器连接至顶部EVM的TXD输入引脚。图7中，数字通道1显示了CANH信号（蓝色）；模拟通道2显示了CANL信号（黄色）；数字通道2显示了RXD信号（绿色）。尽管该示波器的精确度很低，但这个简单的测试表明，该CAN物理层的表现在总体上符合我们的预期。

图5 CAN总线状态

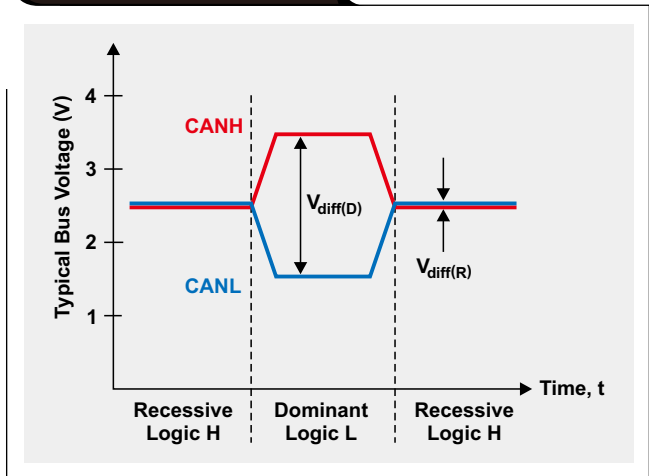


图6 两个EVM的CAN总线调试

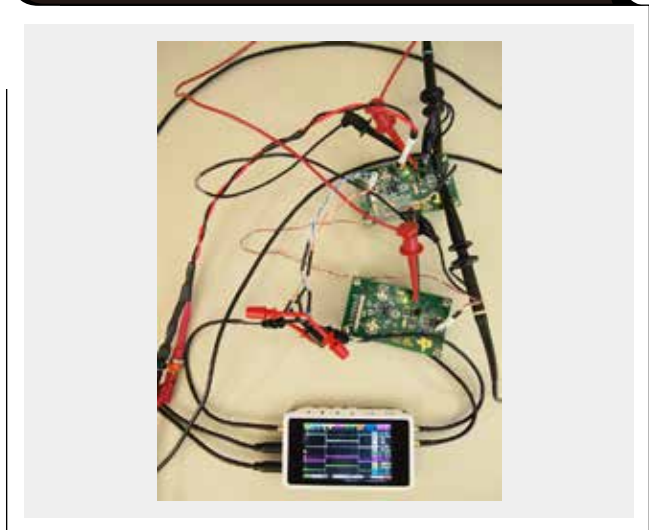


图7 TI CAN EVM信号

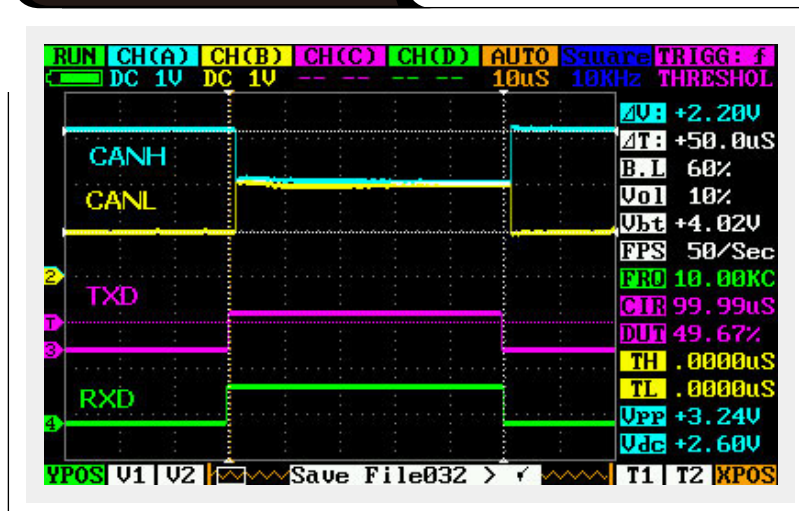


图8显示了该示波器和用于调试TI CAN演示系统的探针装置。该节点使用菊形链，并使用CANopen® D-SUB 9针连接器。一个总线外接头连接器位于图8左上方。利用它，我们可以轻松地连接模拟示波器探针至CAN总线的CANH和CANL引脚以及GND。由于探针过大，无法抓住中间CAN节点的TXD和RXD IC引脚，因此可通过连接至探针的芯片钩和一小段电缆，将这些引脚连接至示波器的数字通道。另一种方法是，给每个收发器焊接一小段线，这样示波器探针便可更容易地连接。

图9显示了示波器获得的CAN信号详细情况。尽管这些信号的分辨率和精度均不高，但它们可以帮助确定需要了解CAN节点工作的哪些信息。中间节点的TXD触发了示波器；CANH和CANL信号差异符合预期；在CAN构架端可清楚地看到高差分电压的收到确认（ACK）位。该高压为同时并行产生ACK位的多个CAN节点的结果。轻松找出ACK位的另一个方法是其存在于RXD信号中而非TXD信号中，这意味着它由另一些节点产生。

CAN调试例子

图10显示了一个CAN演示系统，在PCB右边，连接至菊形链输出的CANH线路被损坏。出现这种情况的原因是，系统后面的一个固定螺栓摩擦PCB，而在几年的时间里该系统被运输至世界各地。当系统通过菊形链总线接口连接至其他CAN节点时，便故障无法工作。

图8 TI CAN演示系统调试



图9 TI CAN演示系统的信号



图10 带有损坏CANH线路的CAN演示系统



图11所示CANH信号表明了该损坏PCB线路的效果。另外，DMM连续性检查也可证实该开路。

图11还突出详细显示了CAN帧的另一个重要部分，即ACK位。示波器使用单一模式，在某个单比特发现触发器时，其在右手节点的TXD引脚上被触发。该单比特为这一节点产生的ACK位，目的是确认接收到一个有效的CAN帧。所有接收节点确认收到发送节点的CAN帧。相比在TXD上看到的发送ACK位，总线上所看到的ACK位的位时间稍长。这是同时发送ACK位的多个节点的假象。影响这种长位时间的一些因素包括：通过线缆的5ns/m延迟、三个CAN节点之间的时钟计时漂移以及同时发送一个ACK位的两个节点所产生的高差分电压。如果这些因素使ACK位（空档）变得更长，并在ACK分隔

符内保持显性，则其可能引起CAN误差帧。

CAN总线调试的另一个例子是，在某个系统中，只有非常慢的CAN数据速率（比特计时）才会起作用。把一个示波器连接至TXD引脚，在TXD输入端显示出非常慢的上升时间，如图12所示。1Mbps的CAN数据速率下，9.6 μ s计时延迟相当于10比特。它的根本原因是：我们正使用一个具有开路漏极的微处理器来驱动收发器的TXD引脚。在这种情况下，没有真正的逻辑高电平驱动。仅有CAN收发器的弱内部上拉正驱动TXD引脚高，因此它的RC时间常量非常长。通过在TXD引脚上添加一个上拉电阻器，便可轻松解决这个问题。

图11 PCB上CANH线路遭损坏的TI CAN信号

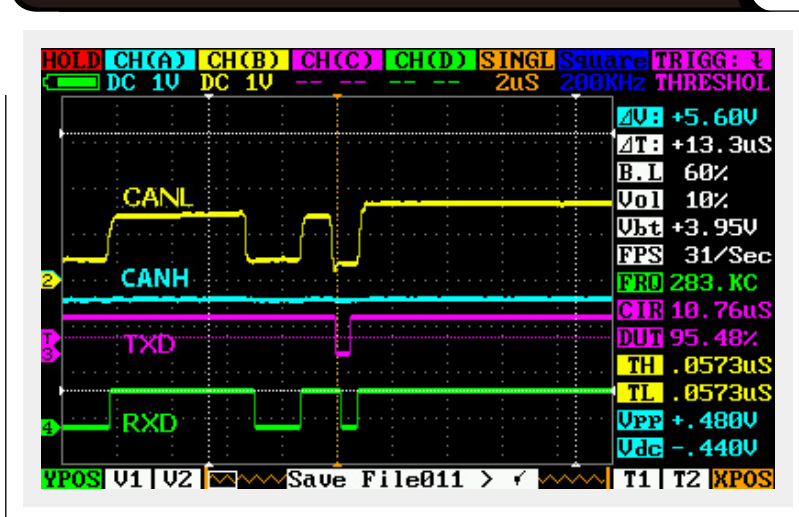
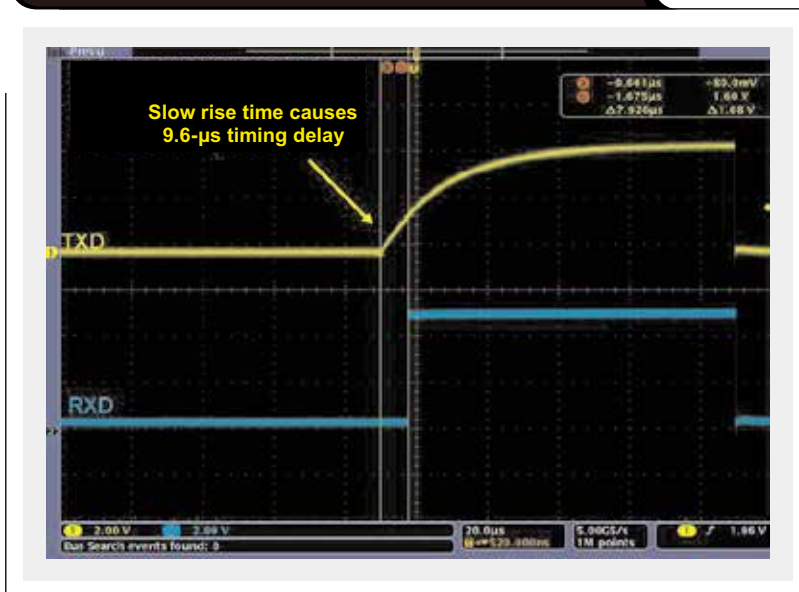


图12 TXD引脚上慢上升时间例子



结论

本文介绍的CAN物理层基础和调试举例，应该让您不那么惧怕进入CAN世界了吧。利用本文提供的其他一些参考资料以及相应的数据表，设计人员应该可以马上让其CAN系统正常运行了。

参考文献

- 1、TI SN65HVD255D评估模块，
网址：www.ti.com/sn65hvd255devm-aaj
- 2、“控制器局域网（CAN）介绍”作者: Steve Corrigan
见于《应用报告》5.1.13小节，
网址：www.ti.com/sloa101-aaj
- 3、《控制器局域网物理层要求》，作者: Steve Corrigan，刊发于《应用报告》，
网址：www.ti.com/slla270-aaj
- 4、《3.3V CAN（控制器局域网）收发器概述》，
作者: Jason Blackman和Scott Monroe，刊发于《应用报告》，
网址：www.ti.com/slla337-aaj

- 5、《CAN总线连接的关键间隔》，作者: Steve Corrigan，
刊发于《应用报告》，
网址：www.ti.com/slla279-aaj
- 6、《CAN收发器的系统评估》，作者: Sam Broyles，
刊发于《应用报告》，
网址：www.ti.com/slla109-aaj

相关网站

接口（数据传输）：

www.ti.com/interface-aaj

www.ti.com/can-aaj

www.ti.com/sn65hvd255-aaj

www.can-cia.org

购买ISO标准，网址：www.iso.org

订阅《模拟应用杂志》：

www.ti.com/subscribe-aaj



WEBENCH® 设计中心: 易于使用且可提供定制结果的设计工具。
PowerLab™ 参考设计库, 包含了近千个适用于所有应用的参考设计。
电源在线培训课程

www.ti.com.cn/webench
www.ti.com.cn/powerlab
www.ti.com.cn/powertraining

WEBENCH® Designer

Power | **FPGA/μP** | Sensors | LED

Enter your power supply requirements:

Min	14.0 V	Max	22.0 V
Vin			
Vout	3.3 V	Iout	2.0 A
Output			
Ambient Temp			30 °C

Multiple Loads **Power Architect** | Single Output **Start Design**

WEBENCH® Designer My Designs

输入电压	最小 14.0 V	最大 22.0 V
输出电压	3.3 V	输出电流 2.0 A
环境温度		30 °C

SIMPLE SWITCHER®
开始设计 ▶



从通讯、计算机、消费类电子到汽车、工业, 从能源、医疗到安防、航空航天, TI推出一系列创新、完整、独特的制胜解决方案, 给您带来前所未有的技术支持体验。 <http://www.ti.com.cn/www/more/>



德州仪器在线技术支持社区

www.deyisupport.com

中国产品信息中心 免费热线:

800-820-8682

TI新浪微博



e.weibo.com/tisemi

热门产品

- | | |
|-----------|--|
| TPS92075 | 具有自适应基准的非隔离式、相位可调光、降压 PFC LED 驱动器 |
| BQ24195 | 具有 5.1V 1A/2.1A 同步升压运行的由 I2C 控制的 2.5A/4.5A 单电池 |
| LM3447 | 相位调光、初级侧电源调整的准谐振反激式控制器 |
| LM34917 | 具有智能电流限制的超小型 33V、1.25A 恒准时降压开关稳压器 |
| ADS1298 | 具有集成 ECG 前端的 8 通道 24 位模数转换器 |
| SN65HVD82 | 针对要求严格的工业类应用的稳健耐用的驱动器和发送器 |
| LM22670 | 具有同步或可调节开关频率的 3A SIMPLE SWITCHER、降压电压稳压器 |
| ISO1050 | 电镀隔离的隔离式 CAN 收发器 |

了解更多, 请搜索以下产品型号:

TPS92075



重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或隐含权作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

	产品		应用
数字音频	www.ti.com.cn/audio	通信与电信	www.ti.com.cn/telecom
放大器和线性器件	www.ti.com.cn/amplifiers	计算机及周边	www.ti.com.cn/computer
数据转换器	www.ti.com.cn/dataconverters	消费电子	www.ti.com.cn/consumer-apps
DLP® 产品	www.dlp.com	能源	www.ti.com.cn/energy
DSP - 数字信号处理器	www.ti.com.cn/dsp	工业应用	www.ti.com.cn/industrial
时钟和计时器	www.ti.com.cn/clockandtimers	医疗电子	www.ti.com.cn/medical
接口	www.ti.com.cn/interface	安防应用	www.ti.com.cn/security
逻辑	www.ti.com.cn/logic	汽车电子	www.ti.com.cn/automotive
电源管理	www.ti.com.cn/power	视频和影像	www.ti.com.cn/video
微控制器 (MCU)	www.ti.com.cn/microcontrollers		
RFID 系统	www.ti.com.cn/rfidsys		
OMAP应用处理器	www.ti.com.cn/omap		
无线连通性	www.ti.com.cn/wirelessconnectivity	德州仪器在线技术支持社区	www.deyisupport.com

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号, 中建大厦 32 楼 邮政编码: 200122
Copyright © 2013 德州仪器 半导体技术 (上海) 有限公司