

设计适合汽车音频应用的实时诊断电路

Jared Becker

Technical Sales Engineer

现代车载音频系统的设计人员正在迅速采用诊断功能来监控 D 类放大器集成电路及所连扬声器。关键问题是在路边紧急情况下（例如碰撞或故障）使用的连接到远程通信控制单元 (TCU) 的车载扬声器（图 1）。通过检测扬声器短路或断开连接并通知驾驶员，他们可以在发生灾难性事件之前安排维护。

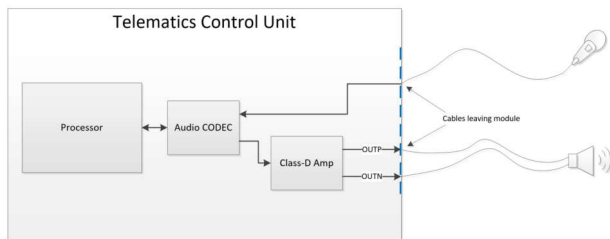


图 1. 具有 D 类音频放大器的 TCU，带有扬声器连接

实时诊断 (RTD)

作为额外的安全层，一些车辆制造商需要实时诊断 (RTD)。传统上，D 类扬声器诊断功能会在 TCU 模块或 D 类放大器开启时检查扬声器，但随后不会针对所有故障场景进行监测。RTD 在启动时监控扬声器，并在车辆运行时继续监控扬声器。这种额外的监控不仅减少了系统故障和通知之间的时间，而且还确保了在发生诸如一百英里长驱动器之类的事件时及时通知。

当紧急呼叫扬声器处于故障状态时，立即提醒驾驶员可最大限度地减少发生事故的可能性。此外，如果检测到扬声器故障问题，系统还可以在紧急电话呼叫期间向紧急服务运营商发出警报。如果扬声器在车辆发生事故后出现故障（例如 TCU 模块和扬声器之间的导线断开），系统可能会向紧急操作员发送一条信息，表明驾驶员无法听到他们的命令。作为最终要求，诊断绝不应在座舱中引入错误的音频。

D 类放大器必须能够诊断四种主要的扬声器故障状况，如下图所示。

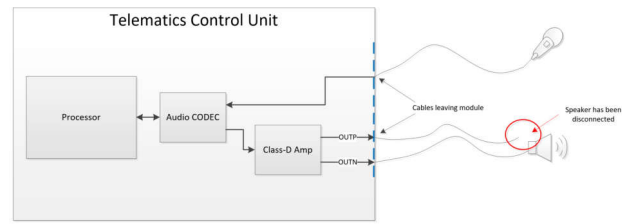
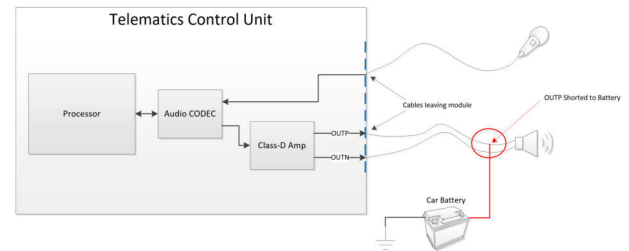
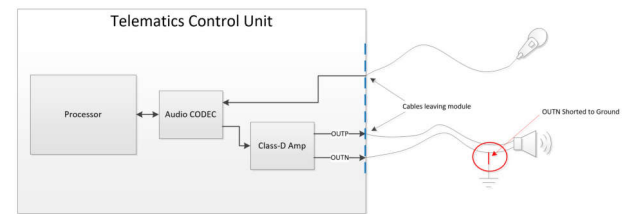
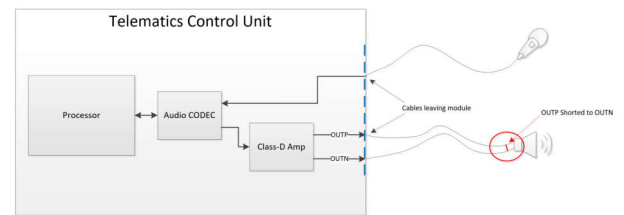


图 2. 四种扬声器故障状况：扬声器开路或负载 (a)；正输出对负输出短路 (b)；正输出或负输出对地短路 (c)；正输出或负输出对车辆蓄电池短路 (d)。



此外，即使故障消除后，D 类放大器也应该能够正常工作，而无需主机干预。例如，应该可以检测扬声器线路上的间歇性短路；但是，当故障条件消除时，系统仍然正常工作。

D 类放大器选择

德州仪器 (TI) **TAS5431-Q1** D 类放大器可以为汽车扬声器提供高达 8W 的功率，并保护自身和 TCU 模块免受四种故障情况的影响，而且在启动时诊断所有四种故障类型（也称为“待机模式失效”）。启动后，放大器只能在音频播放过程中检测到对地短路、正输出对负输出、对汽车电池短路、正输出对负输出以及对负输出短路、正输出。有关 **TAS5431-Q1** 如何诊断这些故障状况的更多详细信息，请参见 **TAS5431-Q1** 数据表的第 7.3.5 节“负载诊断”。

尽管 **TAS5431-Q1** 能够在启动时诊断这些故障情况，但无法自行实施完整的 RTD 套件。一个显著的缺点是在将待机模式置为无效后，无法检测到正输出对负输出短路或扬声器/负载开路。表 1 总结了 **TAS5431-Q1** 诊断的标准功能。

	将待机模式置为无效	器件运行中（无音频）	器件运行中（音频播放）
正或负输出对地短路	是	是	是
正或负输出对电池短路	是	是	是
正输出对负输出短路	是	否	是
负载开路	是	否	否

表 1. TAS5431-Q1 RTD 摘要

实现 RTD

要在没有音频时检测正输出对负输出短路，音频源（编解码器或处理器）必须将基线信号与语音或音频信号混合（图 3）。例如，基线 5Hz 200mV 峰峰值信号远低于音频

频率范围（20Hz 至 20kHz），并且具有足够的振幅（200mV 峰峰值）来产生检测正输出对负输出短路所需的激励。

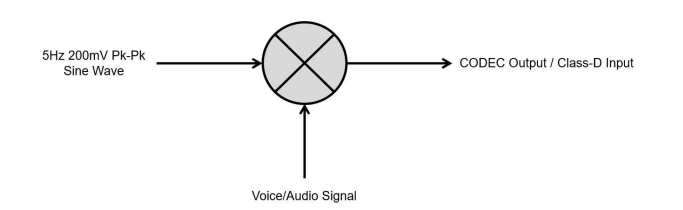


图 3. 在 200mV 峰峰值下混合 5Hz 的带外基线信号，可在不存在音频时检测输出短路

向 **TAS5431-Q1** 的输入施加低频基线信号可确保在正输出对负输出短路时，该器件将达到其过流限值。然后，集成到 **TAS5431-Q1** 的诊断评估模式将检测正负电压并在寄存器映射中报告故障。只需实现此波形即可改变诊断总结，如表 2 所示。

	将待机模式置为无效	器件运行中（无音频）	器件运行中（音频播放）
正或负输出对地短路	是	是	是
正或负输出对电池短路	是	是	是
将正输出连接到负输出	是	是	是
负载开路	是	否	否

表 2. 向 D 类放大器输入添加基准 5Hz 200mV 峰峰值正弦波时的 TAS5431-Q1 RTD 总结

将电流感测电阻器、电流感测放大器和电阻电容器 (RC) 滤波器（图 4）与相同的 5Hz、200mV 峰间基线信号结合使用，使系统能够检测扬声器或开路负载情况。

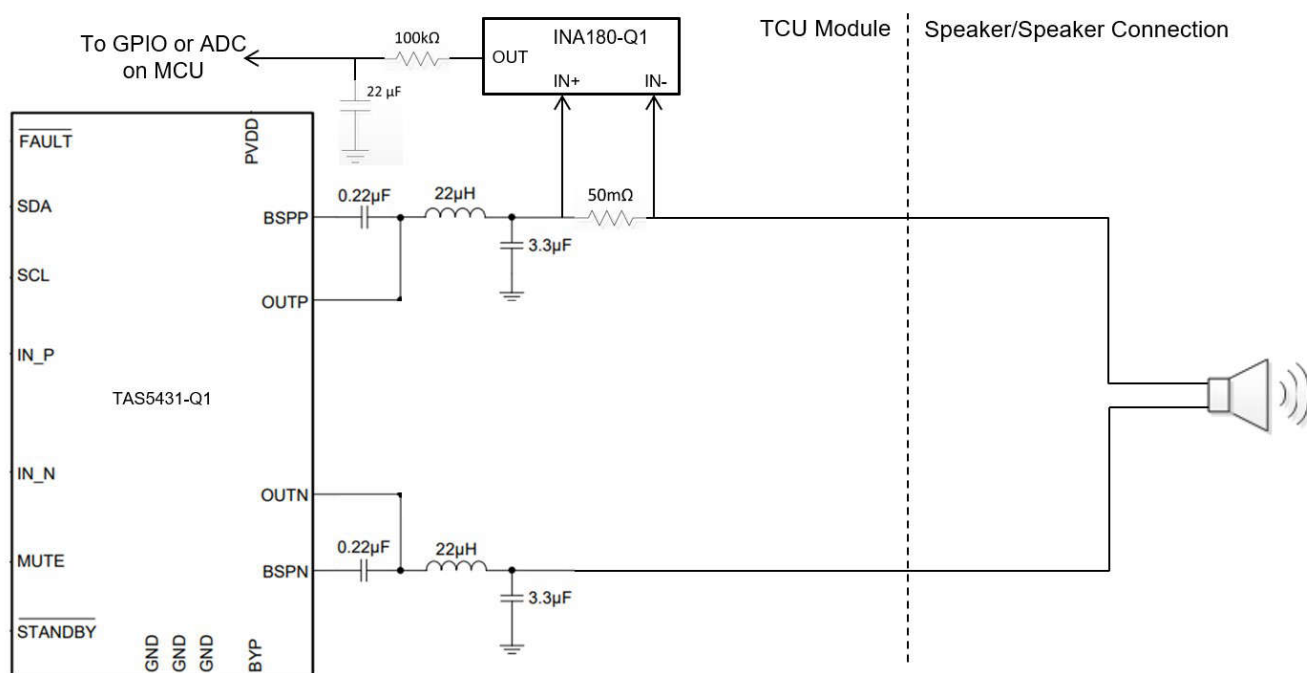


图 4. 使用 TAS5431-Q1 实现一个简单的电流检测放大器电路，可以检测开路

无论是否存在音频，基线信号都会通过 50mΩ 电流检测电阻器产生电流，**INA180-Q1** 都会将其转换为成比例的电压。尽管基线信号是双极信号（既有正也有负），但 **INA180-Q1** 的单向性质会自动对输出电压进行整流，并将后置滤波要求大幅降低至简单的 RC 滤波器。RC 滤波器产生的直流输出被驱动到微控制器通用输入/输出或模数转换

器 (ADC) 中进行分析（图 5）。在开路负载故障期间，电流将停止流过电流检测电阻，从而强制 **INA180-Q1** 的输出为 0V。**INA180-Q1** 输出超过预定阈值会触发警报以断开扬声器连接（图 6）。

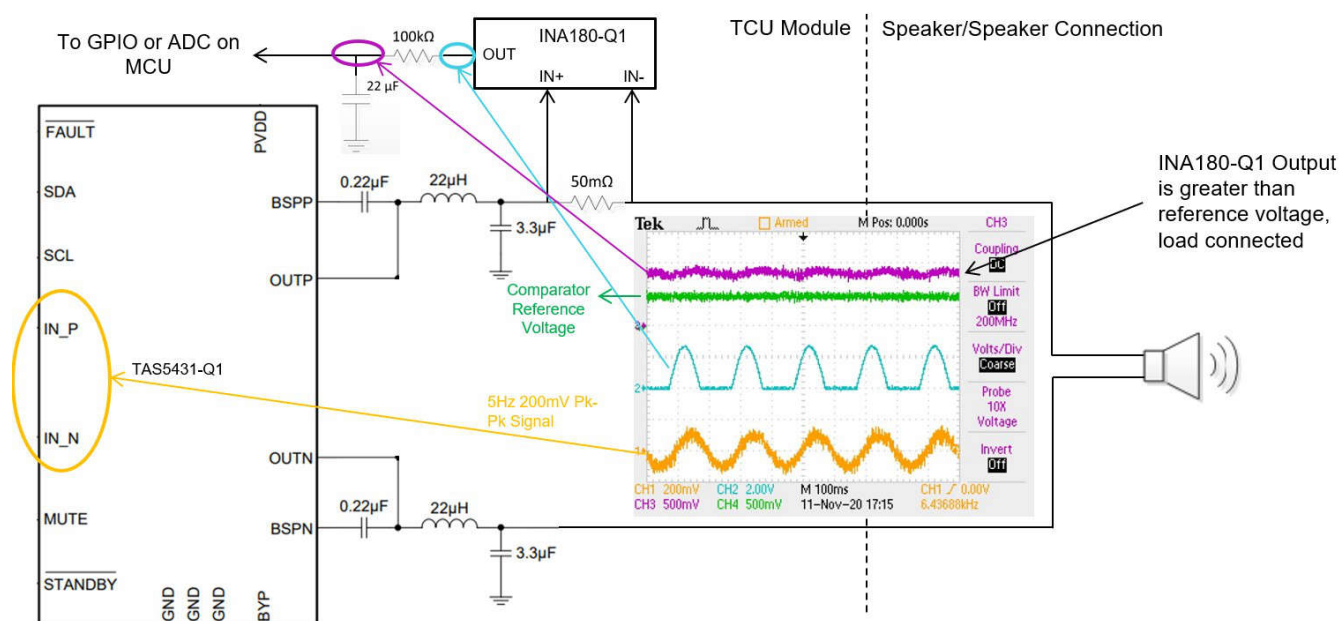


图5. 在正常运行期间，INA180-Q1 将基线信号整流为可测量的直流电压

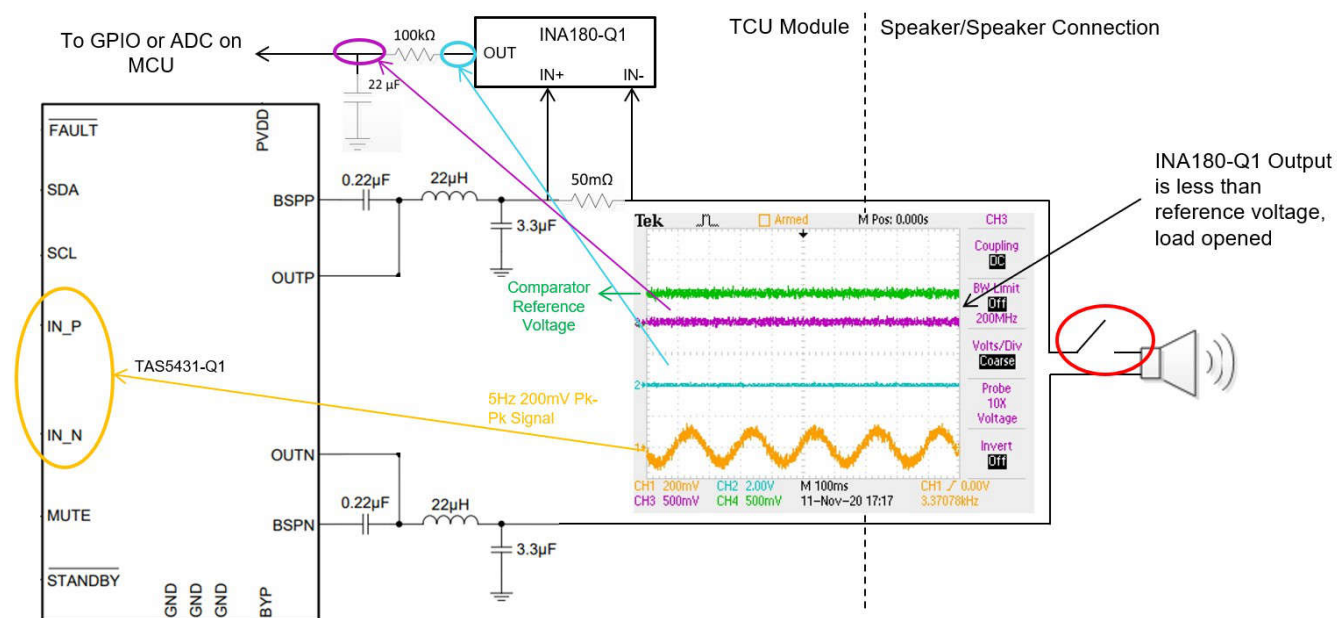


图6. 在开路故障情况下，INA180-Q1 测量为零电流，可通过连接的比较器或 ADC 轻松检测到零电流

在基线信号上叠加音频的电路的最终验证（图7）将产生正常运行期间的预期结果。INA180-Q1 将通过 50mΩ 电阻器传输的负载电流转换成半波整流电压。后滤波结果为 1V 直流电压，大于预选阈值。所有设计都必须根据预期的负载特性进行调优，并且 INA180-Q1 提供多个额外的增益选

项。INA180-Q1 还具有较大的共模输入电压范围 (26V)，可确保在电池短路故障期间不会造成损坏，通常在线路上产生高达 16V 的电压。

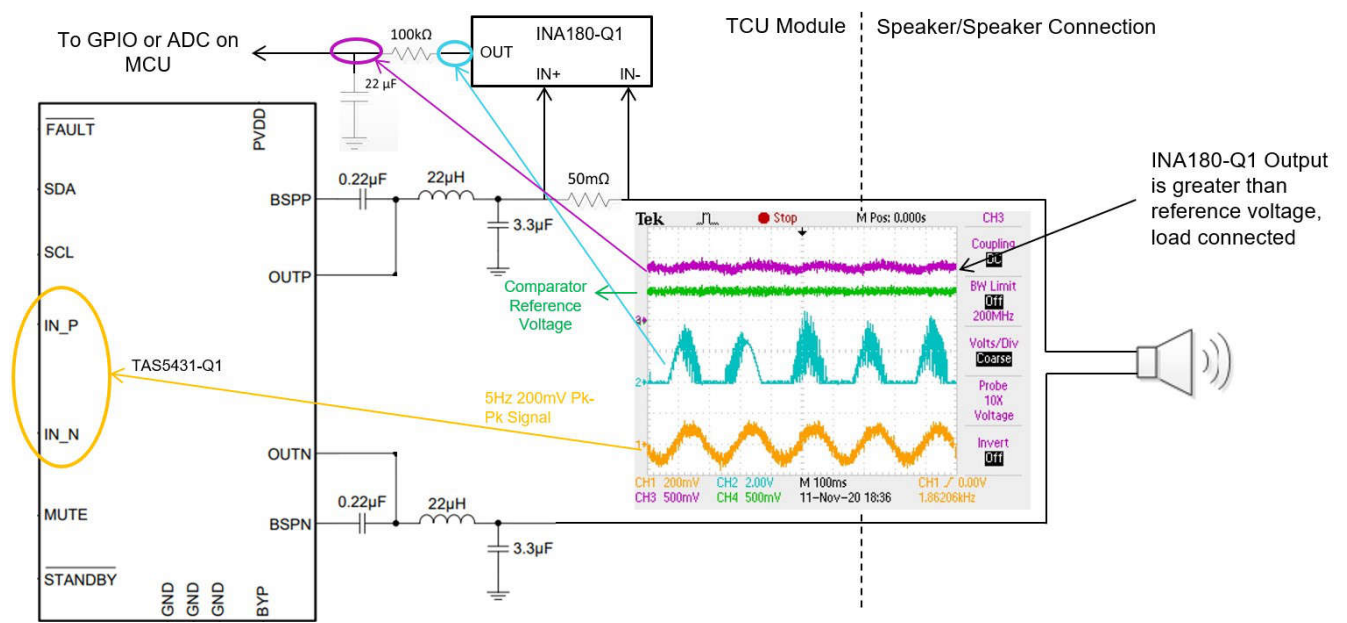


图 7. 开路负载诊断，无故障状态，音频混合到输入中

借助附加电路，TAS5431-Q1 最终能够实现完整的 RTD，如表 3 所示。

	将待机模式置为无效	器件运行中（无音频）	器件运行中（音频播放）
正或负输出对地短路	是	是	是
正或负输出对电池短路	是	是	是
将正输出连接到负输出	是	是	是
负载开路	是	是	是

表 3. 向 D 类输入添加基准 5Hz 200mV 峰峰值正弦波和附加电路时的 TAS5431-Q1 RTD 总结

其他注意事项

使用 TAS5431-Q1 实现 RTD 后，还需要查看另外两个设计注意事项。第一种是故障恢复。当发生故障时，D 类放大器应保护自身和任何连接的电路免受损坏，同时还应进

行故障诊断。故障消除后，器件应立即检测故障是否已消除并继续播放音频（如果正在对输入端施加音频）。

TAS5431-Q1 经由无限期重复持续运行其 229ms 诊断周期来实现故障恢复。故障消除后，诊断周期确定不再存在故障并允许输出级正常运行。有关这方面的更多详细信息，请参阅 TAS5431-Q1 数据表的第 7.3.5.1 节“负载诊断序列”。实现 RTD 所需附加电路不会影响该器件从故障中恢复并立即播放音频的能力。

第二个考虑因素是：根据负载的总阻抗，D 类放大器可能难以检测正负输出短路情况。每个 D 类放大器都有一个阻抗阈值，在该阈值下，它将检测正输出和负输出的短接（短接的扬声器）。在给定的设计中，正负输出之间可能存在很大的阻抗、尤其是当扬声器附近发生短路时，该短路可能超过 D 类放大器的检测阈值。在车辆系统中，从 TCU 模块到扬声器（然后再回到 TCU 模块）的布线最长可达 10 至 12 米。图 8 显示了需要考虑的全部不同阻抗。

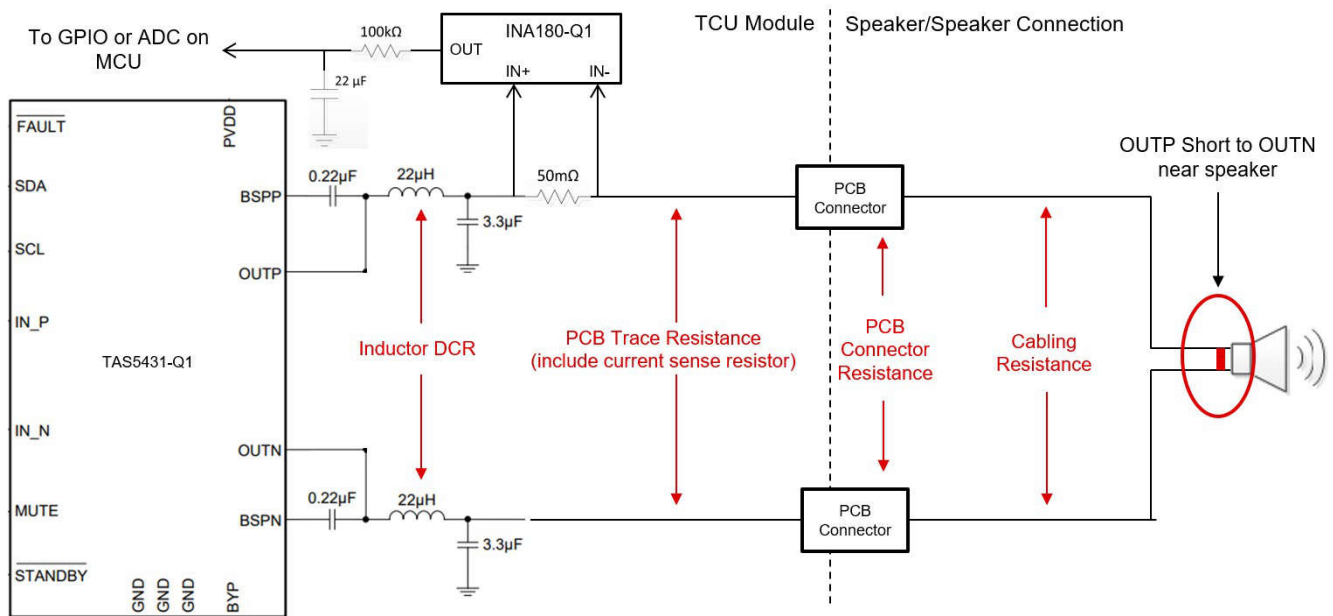


图 8. 当正输出对负输出短路时，在扬声器附近出现时，需要考虑正输出和负输出之间的阻抗

接下来，我们将回顾一个有关如何考虑系统中的各种阻抗并将它们与 **TAS5431-Q1** 检测阈值进行比较的示例分析。

我们可以先假设使用 12 米的 22AWG 外部布线（0.053Ω/米）总电阻 636mΩ，如公式 1 所示：

$$12 \text{ meters} \times \frac{0.053 \Omega}{\text{meter}} = 636 \text{ m}\Omega \quad (1)$$

标准汽车连接器（如 Molex 34826-8160）为每个连接器指定了大约 20mΩ，这两个连接器总共指定了 40mΩ。

对于电感器，找到汽车级低直流电阻 (DCR) 电感器（例如 Cyntec 的 VAMV1009AA-220MM2）非常重要。每个线圈 22μH 电感器的最大值 56mΩ 乘以 2，总计 112mΩ。

最后，为电流检测电阻器添加 50mΩ 总共会得到正负输出之间的大约 838mΩ 电阻，不包括布线电阻。

根据 **TAS5431-Q1** 数据表，短路检测阈值规格为 900mΩ。因此，为了确保器件识别到正负输出之间的短路，两者之间的电阻必须小于 900mΩ。根据计算得出的总

电阻 838mΩ，在 **TAS5431-Q1** 之前可能容易出现输出间短路的情况，大约存在 62mΩ 的布线阻抗。

要满足 900mΩ 规范要求，需要仔细进行印刷电路板设计和布线。您还可以微调设计的其他方面，例如使用“**LC 滤波器设计**”应用报告选择具有较低 DCR 的替代电感器，或最大限度地减小电流检测电阻值并选择具有较大增益设置的 **INA180-Q1**。

结语

RTD 已成为 TCU 系统的关键安全因素。通过一系列巧妙的电路设计技术，汽车制造商可以克服这一挑战，并立即开始在 TCU 模块中采用 RTD。额外的诊断功能将提高车辆安全性，而对于所有驾驶员而言，更安全的车辆将对未来漫长的道路行驶提供更好的体验。

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月