



Josh Wei, Scarlett Cao

Sales and Marketing/China Automotive

摘要

随着全球汽车电动化的趋势，EV/HEV 中关键部件车载充电机（OBC）市场需求不断增长。继电器是 OBC 中的核心组件，用于连接或分断高压交流或者高压直流之间的功率电流。然而，频繁使用和外部环境因素可能会导致继电器触点粘连，从而影响 OBC 甚至整车的可靠性。ISOM811X-Q1 系列光耦仿真器产品应用了 TI 的最新一代 SiO₂ 隔离技术，且可以模拟 LED 的电流型输入结构。继电器粘连检测传统方案为比较继电器前后两端电压，此方案需要两路高压电压采样，成本较高。本文重点介绍如何通过 ISOM8118-Q1 搭建一套低成本检测继电器粘连的方案，节省一路电压采样并降低系统复杂度。

内容

1 OBC 中的继电器触点粘连.....	2
1.1 应用在 OBC 中的继电器.....	2
1.2 继电器触点粘连的原因和危害.....	3
2 认识光耦仿真器.....	3
2.1 ISOM811X-Q1 以及 CTR 等关键参数简介.....	3
2.2 与光耦、单通道数字隔离器的性能对比.....	4
3 基于 ISOM8118-Q1 的 OBC 中 V2L 电路的 AC 继电器粘连检测.....	5
3.1 什么是 OBC 中的 V2L.....	5
3.2 V2L 的 AC 继电器粘连检测电路设计参考.....	5
3.3 基于典型电路的设计举例和选型指南.....	6
4 总结.....	7
5 参考文献.....	7

1 OBC 中的继电器触点粘连

1.1 应用在 OBC 中的继电器

车载充电机 OBC(On-Board Charger)是车载的电力电子装置,通过高频开关实现电能的转换¹。OBC 分为单向 OBC 和双向 OBC。单向 OBC 只能给动力电池充电,双向 OBC 可以把高压动力电池的直流电逆变成交流电(220V AC 50Hz/110V AC 60Hz)。电磁式继电器是通过电磁效应实现开关控制的元件,它由一组用于单个或多个控制信号的输入端子和一组操作触点端子组成。在 OBC 中,交流输入和高压直流输出通常各配置一个继电器。在与充电桩确认充电前,通过继电器确保 OBC 与电网的电气隔离;在 V2L 时,同样位置的继电器负责控制电能是否释放给交流负载,保障用户和车外负载的安全。

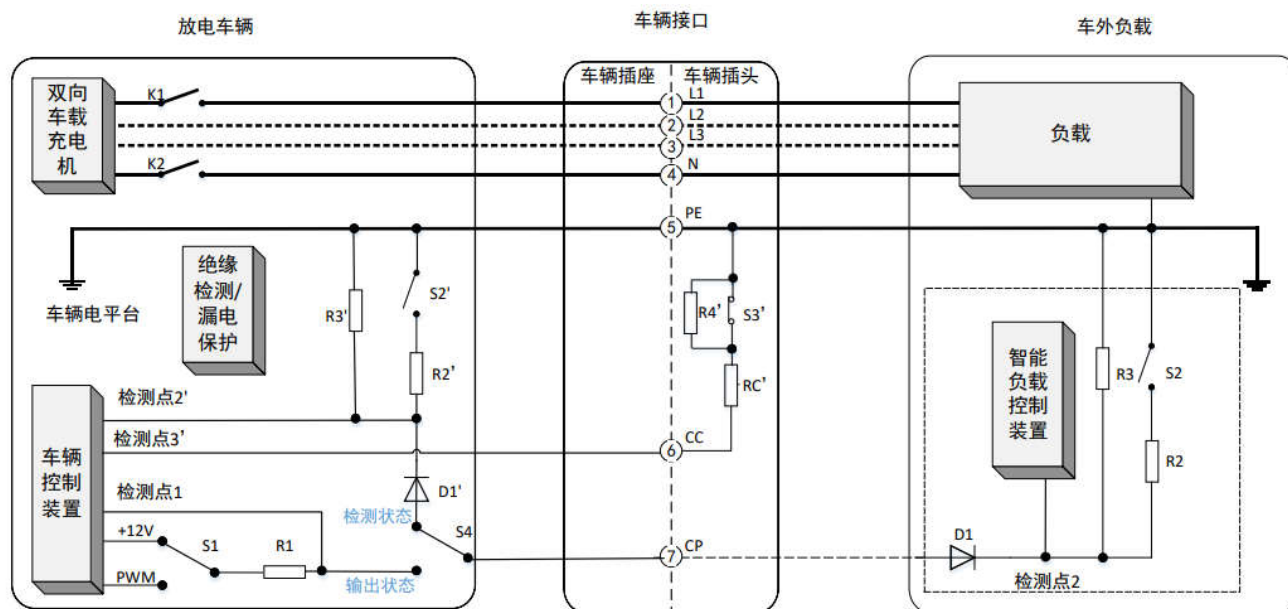


图 1-1. V2L 模式控制导引电路原理图¹

以 6.6kW 的 400V 单相 OBC 为例,额定 220V 条件输入时电流为 32A_{RMS},电池馈电时最大输出电流约为 30A_{DC}。大功率工况要求 OBC 中的继电器需要满足耐受约 400V_{pk} 电压以及 60A 的过流承载能力。电磁继电器主要由线圈、铁芯、触点和弹簧等部分组成。当线圈通电时,铁芯产生磁场,使触点闭合;当线圈断电时,铁芯失去磁场,触点在弹簧的作用下断开。

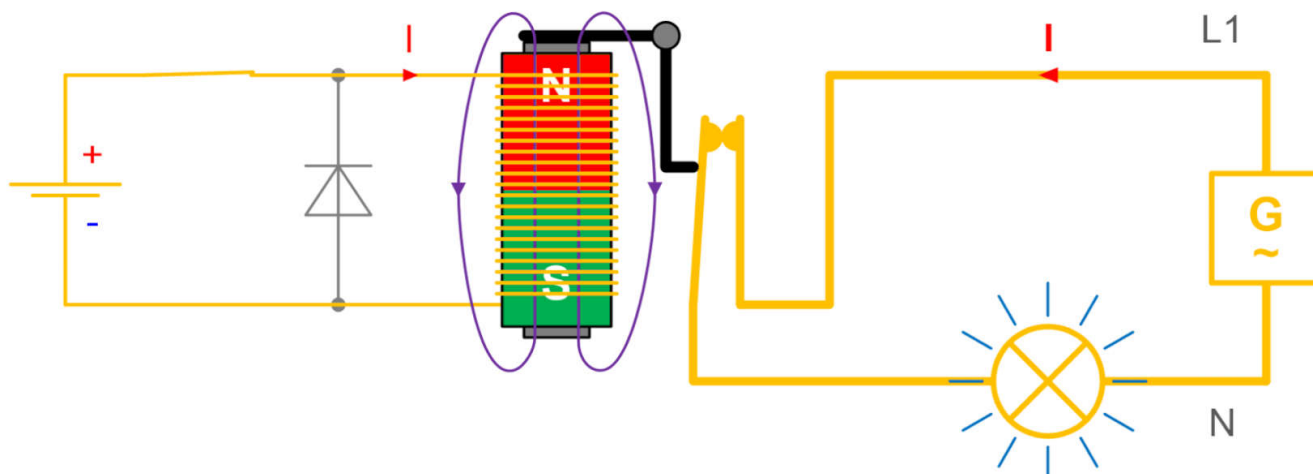


图 1-2. 常见电磁继电器控制回路和被控回路²

1.2 继电器触点粘连的原因和危害

继电器在触点切换电流通过的瞬间会产生拉弧，在高负载、频繁操作或继电器老化等情况下可能会导致触点粘连，无法正常分开或闭合，进而导致继电器无法正确切换电路。引起电路故障、设备损坏等安全隐患。

设计中需要严格遵循继电器的应用规格，防止超规格应用导致的继电器失效。考虑到 OBC 继电器频繁通断，且车身震动也可能导致触点意外接触，开发者通常也设计有检测电路监控触点状态。最常见的方案为采样触点两端电压，根据压差来校验此时继电器是否处于预期的空置状态。但由于 OBC 继电器位于高压区域，额外增设高压检测电路会显著增加成本，因此需探寻更经济有效的检测方案。

2 认识光耦仿真器

2.1 ISOM811X-Q1 以及 CTR 等关键参数简介

ISOM811X-Q1 系列是 TI 推出的光耦仿真器产品，具有模拟 LED 输入和晶体管输出功能。该系列产品与多种传统光耦合器封装兼容，支持 pin-to-pin 升级。ISOM811x-Q1 使用模拟 LED 作为输入级⁴，输入域输出间采用二氧化硅 (SiO₂) 隔离介质，可以有效抵御传统光耦技术的光衰问题。

电流传输比 (CTR) 是光耦仿真器中的重要参数，定义为：

$$CTR(\%) = \frac{I_C}{I_F} \times 100\% \quad (1)$$

在相同的最小输入电流 I_{Fmin} 下，CTR 越高，次级“晶体管”的饱和程度越深，导通压降越小。ISOM811x-Q1 系列产品提供 100% - 560% 多种 CTR 选项因为 SiO₂ 隔离介质的稳定性，这一关键指标得以在全温度范围和全输入电流 I_F 范围都保持稳定，为设计者根据实际输入情况设计边界条件提供便利。

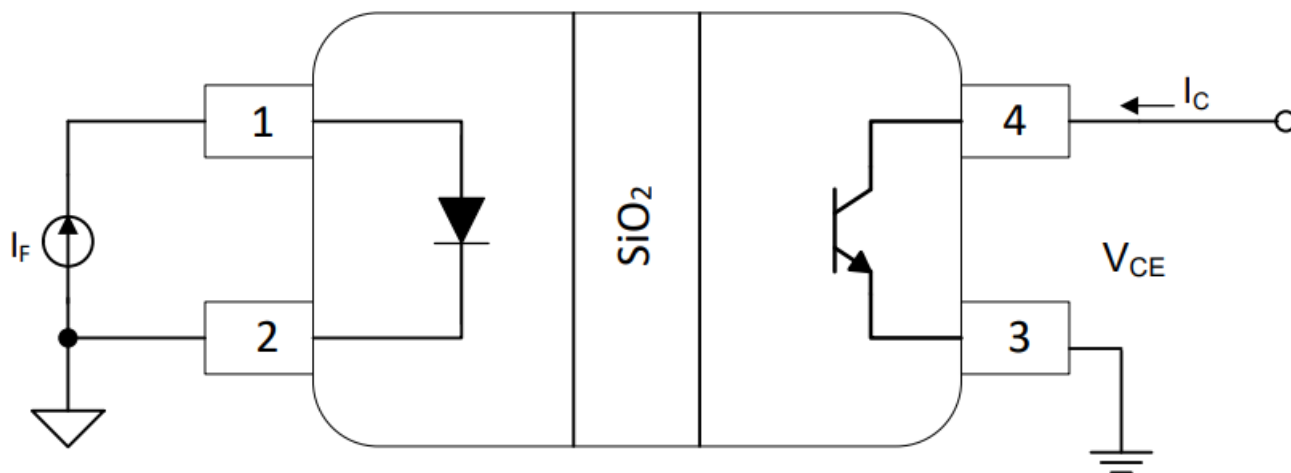


图 2-1. 光学仿真器的输入 I_F 与输出 I_C

2.2 与光耦、单通道数字隔离器的性能对比

与单通道数字隔离器相比，ISOM811x-Q1 光耦仿真器无需输入、输出供电，不存在参考地限制，所以在高侧或低侧应用中均可灵活配置，大大简化了高压侧供电电路的设计。此外强电系统中高频共模干扰大多通过寄生电容耦合，光学仿真器电流型输入的特性有利于提高信号的抗扰度。

与光耦合器相比，ISOM811x-Q1 光耦仿真器具有显着的可靠性和性能优势，包括高带宽、低开关延迟、更宽的温度范围、平坦的 CTR 以及严格的工艺控制，从而导致极小的散差。另外，由于无需补偿老化效应及温度变化，光耦模拟器的 LED 输入级与光耦相比，也可以进一步降低应用功耗。对比如下表所示：

参数	ISOM811X	光耦 A	光耦 B
隔离技术	SiO2	光	光
输入类型	Uni & bidirectional	Unidirectional	Unidirectional
V _F (典型值) (V)	1.2	1.2	1.25
开关时间(μ s)	5/3	3/3	3/3
CTR 范围@ IF = 5mA	100% - 560%	50% - 600%	50% - 600%
带宽 (典型值) (KHz)	680	30	NA
温度范围(°C)	-55 - +125	-55 - +110	-55 - +100
引脚间距(mm)	2.54 (DFG) & 1.27 (DFH)	1.27	2.54

3 基于 ISOM8118-Q1 的 OBC 中 V2L 电路的 AC 继电器粘连检测

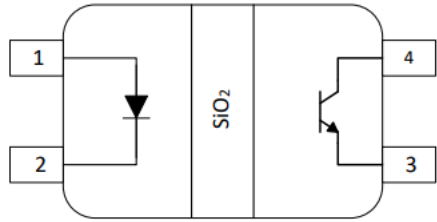
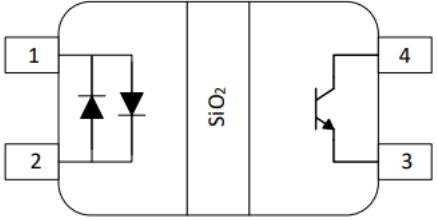
3.1 什么是 OBC 中的 V2L

在传统燃油汽车中，12V 低压电池为车内各种低压用电负载提供电力，如雨刮器、前照灯或显示屏等。此类电池的容量往往较小，一般为几十 AH，放电功率一般不足 1kW。但是在新能源汽车中，动力电池的容量往往为几十 kWh 双向 OBC 的 V2L(Vehicle to Load) 功能可利用动力电池的能量为外部负载设备供电。逆变产生 220V (国际大多数国家标准) /110V (北美标准) 电压等级，功率几 kW (取决于 OBC 的逆变功率) 的交流电，可为户外电动露营设备等负载供电⁵。同时 V2L 也可以拓展到车辆到电网 (Vehicle to Grid, V2G)、车辆到家庭(Vehicle to House, V2H)等应用场景，使得新能源车主可以将车辆冗余的电量销售给电网或者补充家庭用电，提高能源弹性和应急能力。

由于使用 AC 给新能源汽车充电和使用 V2L 给负载用电不会同时进行，为节省车内空间，V2L 的 AC 放电插口一般与 AC 输入充电接口共用，两个接口间通过继电器分断实现互相独立。考虑到放电插口与人体有直接接触的可能，除了结构上的设计保证防触电安全外，OBC 的 V2L 电路必须监测输出电压的安全状态。因此，V2L 电路上的 AC 继电器触点是否粘连至关重要，系统需要确认 AC 放电插口仅在放电引导完成后输出 220V/110VAC。

3.2 V2L 的 AC 继电器粘连检测电路设计参考

ISOM811X-Q1 系列产品具有 DC 和 AC 输入，及不同 CTR 指标，选型参考如下表所示：

Part Number	CTR	Input Type
ISOM8110-Q1	100%~155%	Single-direction - DC Input ISOM811(0-3)-Q1 
ISOM8111-Q1	150%~230%	
ISOM8112-Q1	255%~380%	
ISOM8113-Q1	375%~560%	
ISOM8115-Q1	100% to 560%	Bidirectional - AC Input ISOM811(5-8)-Q1 
ISOM8116-Q1	150%~230%	
ISOM8117-Q1	255%~380%	
ISOM8118-Q1	375%~560%	

V2L 场景需要适配电网及负载侧的 AC 双向输入类型，因而需要选用 ISOM811[5-8]-Q1 系列产品。更高的 CTR 意味着输出电流 I_C 变化对高压输入侧的继电器粘连更加敏感，因而后续范例以 CTR 值最高的 ISOM8118-Q1 作为计算参考，应用中可以通过实际需求匹配其他选型。

在应用参考电路中，输出上拉电阻 R2 的设计可以将单流变化转化为电压变化，推荐继电器粘连的检测步骤如下：

1. MCU 发送指令断开继电器；
2. OBC 逆变产生 36V_{pk-pk} 的人体安全电压，该电压通过限流电阻 R1 连接至芯片输入；
3. 如果此时 ISOM8118 输入侧有超过 I_{Fmin} 的电流产生，则二次侧压降改变；
4. 如 MCU GPIO 口检测下降沿，则判断继电器触点接触，存在粘连风险；

如果 MCU 的 GPIO 未检测到下降沿，则判断此时继电器触点分断良好，应发送指令闭合继电器，OBC 进入 V2L 状态。

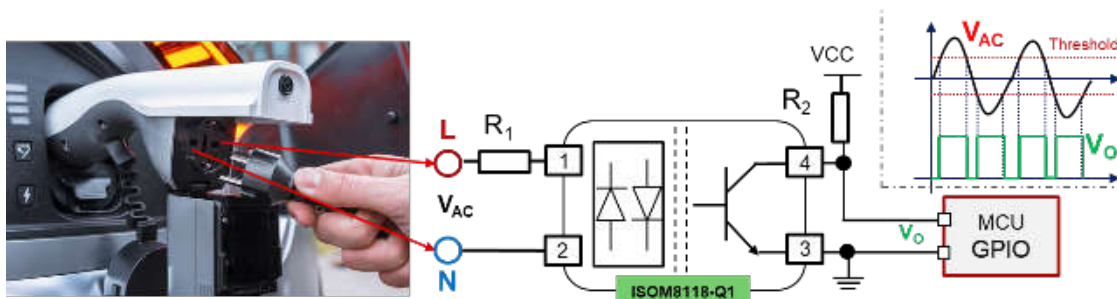


图 3-1. 基于 ISOM8118-Q1 的继电器粘连检测典型参考电路

3.3 基于典型电路的设计举例和选型指南

依照 3.2 节的设计思路，推荐基于 ISOM8118-Q1 的继电器粘连检测的整体电路如下。在此电路中，AMC0330S-Q1 为隔离采样运放，负责采样 AC 端口电压，其单端输出特性简化了调理电路的设计，为监控继电器触点一侧的实际电压值提供参考。如出现继电器粘连，电流经 R1 电阻限流后输入 ISOM8118-Q1 芯片输入端，ISOM8118-Q1 根据 I_F 生成输出电流 I_C ，在输出给 MCU 的上拉电阻 R2 上产生压降。MCU 的 GPIO 通过边沿信号判断是否可能出现粘连，并结合 AMC0330S-Q1 的 ADC 采样结果和 MCU 发送给继电器的指令最终确认继电器触点状态。

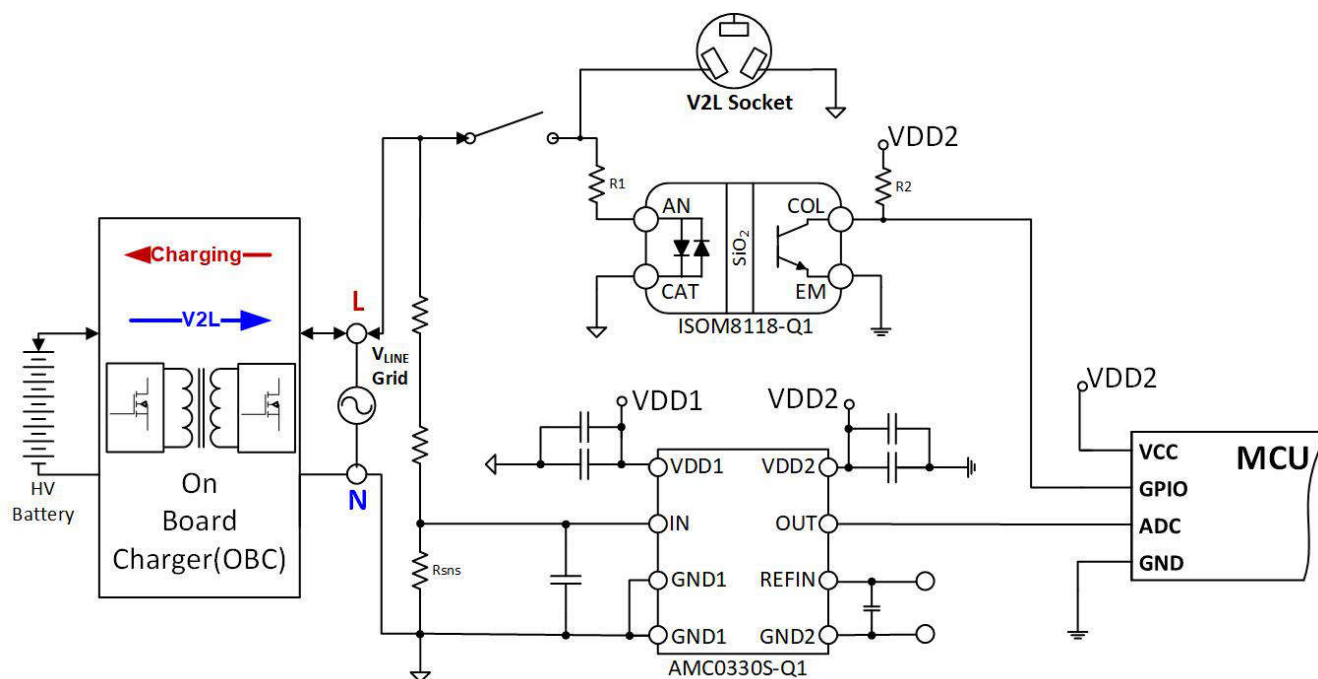


图 3-2. 基于 ISOM8118-Q1 的继电器粘连检测的整体电路

在粘连检测电路设计中，许多变量都会影响如何正确使用光耦仿真器包括电网电压、MCU 的供电电压等。下面将假设电网电压为 220VRMS 正弦交流电压，MCU 使用 3.3V 供电，进行具体参数选型分析。

3.3.1 选择电压判断的阈值 V_{TH} 和 I_{Fmin}

根据数据手册标注，ISOM8118-Q1 在 25°C 下的最小正向导通电流为 0.5mA。但当温度高于 40°C 后，其 CTR 值会快速下降，到 125°C 时 CTR 远低于手册标称 typ 值。为确保电路在宽温度方位内稳定可靠，设计中选择 1mA 作为最小 I_F 。在限流电阻 R1 固定时，输入电压越高，对应的输入 I_F 越大。CTR 越高则输出 I_C 越大，ISOM8118-Q1 CTR 值最高，可以提高判断的精度。而考虑到人体最高安全电压 36V，将电压判断阈值 V_{TH} 设定为 36V。

$$V_{TH} = I_{Fmin} \times R_1 + V_F \quad (2)$$

V_F 为模拟 LED 的输入压降，典型值 1.2V。

3.3.2 选择限流电阻 R_1

光耦仿真器 ISOM8118-Q1 的输出状态取决于原边输入电流。为了限制流入 AN 引脚的电流，必须在输入端串联一个电阻 R_1 。限流电阻选型需满足两个条件：一是需确保 AC 放电端口达到判断阈值 V_{TH} 后，MCU 的 GPIO 口可以接收到低电平；二是继电器正常闭合后，220V_{RMS} 的 AC 电压不会烧毁 ISOM8118-Q1 或者 R_1 电阻本身。

从保证判断精度角度考虑， R_1 需满足：

$$R_1 < \frac{V_{TH} - V_F}{I_{Fmin}} \quad (3)$$

代入数据计算可得 $R_1 < 34.8k\Omega$ 。当输入最大电压时，流入 AN 的电流为 $\frac{220\sqrt{2}V}{34.8k\Omega} = 8.9mA$ ，该电流小于 $I_{F(ON)}$ 最大值 20mA，满足安全要求。

同时需要考虑电阻的发热情况， R_1 电阻上的功耗计算公式为：

$$P_{R1LOSS} = \frac{(V_{AC} - V_F)^2}{R_1} \quad (4)$$

代入数据可得 $P_{R1LOSS} = 1.375W$ ，单个 1206 封装电阻额定功耗为 0.25W，考虑到一定的安全裕量，至少需选择 6 个 200k Ω 的 1206 电阻并联使用，以确保电阻长期稳定工作。

3.3.3 选择上拉电阻 R_2

ISOM8118-Q1 的晶体管输出特性与常规晶体管类似，可以在有效、饱和、反向和截止区域工作。为确保在最小的 CTR 情况下，输入降低到阈值以下后可以正确地输出低电平， R_2 电阻须满足：

$$R_2 < \frac{V_{DD2} - V_{CE(SAT)}}{I_{Fmin} \times CTR_{MIN}} \quad (5)$$

其中 $V_{CE(SAT)} = 0.3V$ ， $CTR_{MIN} = 295\%$ ，计算可得 $R_2 < 1.02k\Omega$ 。同时电阻 R_2 不宜过小，以免 ISOM8118-Q1 输出过流，因此 R_2 电阻同时应满足：

$$R_2 > \frac{V_{DD2} - V_{CE(SAT)}}{I_{CMAX}} \quad (6)$$

计算可得 $R_2 > 60\Omega$ 。综合上述因素考虑，选择 R_2 为 1k Ω ，可保证电路正常工作的同时，有效避免过流风险

4 总结

相较于传统使用两颗电压采样芯片对比继电器两端电压判断粘连的方案，光耦仿真器可以节省一端的电压采样。ISOM811X-Q1 无需高压侧供电，高侧低侧皆可灵活配置，外围电路使用器件数量更少。在满足一定采样精度需求的同时，节约了 MCU 的 ADC 资源，转为使用 GPIO 口，在系统设计的成本控制、电路复杂度降低和资源优化利用等方面具有优势，为 OBC 应用中 V2L 继电器粘连检测提供了更具性价比的解决方案

5 参考文献

1. GB/T 18487.4—202X
2. [Isolated Bias Power Supply Architecture for HEV and EV Onboard Chargers](#)
3. [Relay - Wikipedia](#)
4. [接触弧现象 | TE Connectivity](#)
5. [ISOM811x-Q1 数据手册](#)
6. [What Is Vehicle-to-Load?](#)

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、某特定用途方面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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司