



Bingyang Wang

摘要

DRV89xx-Q1 是 TI 车规级多通道半桥驱动芯片，广泛用于汽车继电器控制、电磁阀驱动、LED 照明及小功率直流电机驱动等场合。本文系统梳理了客户在开发过程中遇到的三类 **Active OLD** 相关问题：PWM 模式下主动续流导致出现 **OLD** 误报、经过 **Sleep-Wake** 周期在 **OLD** 状态下输出电压如何保持、以及 **LOLD**（低电流主动开路检测）如何触发，为实际应用提供正确的寄存器配置方法与系统设计建议。

内容

1 应用背景	2
1.1 器件概述	2
1.2 OLD 功能概述	2
2 OLD 应用问题及分析	3
2.1 问题一：PWM 控制下主动续流出现 OLD 误报	3
2.2 问题二：经过 Sleep-Wake 周期在 OLD 状态下如何保持输出	4
2.3 问题三：LOLD（低电流主动开路检测）如何触发	5
3 结论	9
4 参考文档	9

插图清单

图 2-1. OLD 输出变化过程示意图	4
图 2-2. nsleep 周期和 SPI 指令对通道输出波形图	4
图 2-3. 测试 1：HB3_OLD_DIS = 1b，HB3_LOLD_EN = 1b，3135 Ω 负载	6
图 2-4. 测试 1：HB3_OLD_DIS = 1b，HB3_LOLD_EN = 1b，135 Ω 负载	6
图 2-5. 测试 3：HB3_OLD_DIS = 0b，HB3_LOLD_EN = 1b，3135 Ω 负载	7

表格清单

表 1-1. DRV89xx-Q1 典型应用场景	2
表 1-2. DRV89xx-Q1 开路检测方案对比	2
表 2-1. 主动续流模式下 OLD 连续误报场景汇总	3
表 2-2. HBx_OLD_DIS / HBx_LOLD_EN 控制逻辑	5

1 应用背景

1.1 器件概述

DRV89xx-Q1 系列有多个版本，对应不同数量的通道输出，每路输出最大持续电流 1 A，通过 5 MHz 16 位 SPI 接口实现完整的配置与诊断功能，并集成了过流保护 (OCP)、欠压锁定 (UVLO)、过压保护 (OVP)、热告警与热关断 (OTW/OTSD) 等保护特性。

在实际的工程应用中，除了典型的电机类负载，DRV89xx-Q1 也可以用于继电器、阀、LED 等多种驱动场景，DRV8908-Q1 集成了八个独立的 PWM，可用作 PWM 发生器，相对于 MCU 的输出具备一定驱动能力，可以直接控制外部负载如作为风扇控制信号。常见应用如下表所示：

表 1-1. DRV89xx-Q1 典型应用场景

驱动模式	典型负载	电流范围	控制方式
高侧开关 (HSS)	继电器、阀门控制	200 - 300 mA	On/Off
高侧开关 (HSS)	指示灯	10 - 200 mA	PWM (200 Hz-1kHz)
高侧开关 (HSS)	氛围灯	300mA - 1A	PWM (200 Hz)
低侧开关 (LSS)	继电器控制	200 - 300 mA	On/Off
低侧开关 (LSS)	电磁阀	1 A	On/Off
PWM 发生器	泵控制、座椅风扇控制	≤20 mA	PWM (200 Hz)
半桥 (H-Bridge)	空调风门电机	≤300 mA	PWM/On-Off

表中的控制方式包括 PWM 和 On/off 控制两种，PWM 控制是通过设定半桥切换的频率和占空比实现，依赖于芯片的 PWM 发生器映射；On/off 是 MCU 通过 SPI 持续改写寄存器 HBx_HS_EN 或 HBx_LS_EN 实现开关切换，本身不支持主动续流。

在安全相关负载（如发动机启动继电器控制）的应用场景中，系统需要实时诊断负载的连接状态，开路检测（Open Load Detection，OLD）功能因此成为不可缺少的诊断手段。

1.2 OLD 功能概述

DRV89xx-Q1 提供四种开路检测方案，覆盖不同驱动场景的诊断需求，具体如下：

表 1-2. DRV89xx-Q1 开路检测方案对比

OLD 方案	触发条件	适用场景	主要限制
主动 OLD (Active OLD)	IOUTX < IOLD 且持续 > tOLD	驱动负载期间实时检测	在 PWM 模式且开启主动续流时存在连续误报风险
低电流 OLD (LOLD)	IOUTX < IOLD_LOW 且持续 > tOLD	工作电流较小的负载	仅作用于低侧 FET；需与主动 OLD 配合使用
负电流 OLD (Neg-Current OLD)	IOUTX > -IOLD_NEG	同步整流模式下防止误报	需与主动 OLD 配合使用
被动 OLD (Passive OLD)	输出电压/电流异常 (Hi-Z 状态)	输出使能前的上电诊断	仅 DRV8908/06/04-Q1 支持

2 OLD 应用问题及分析

2.1 问题一：PWM 控制下主动续流出现 OLD 误报

2.1.1 问题描述

当 DRV89xx-Q1 配置为高侧开关 (HSS) 模式并使能主动续流 (HBx_FW = 1b) 时，系统在 PWM 控制过程中会出现 OLD 连续误报现象。首次正确检测到 OLD 故障后，即使负载实际已恢复正常连接，后续 OLD 检测持续误报不消失。该问题与负载类型无关，在阻性负载和感性负载上均可复现。

2.1.2 原因分析

DRV89xx-Q1 内部 OLD 比较器存在行为：一旦 OLD 比较器首次检测到并上报 OLD 故障 (HS 或 LS 方向均可)，后续所有 OLD 检测将不再执行消抖计时 (degitch timer)。

正常工作时，主动 OLD 电路在 FET 导通期间持续监测输出电流。当电流低于阈值 I_{OLD} 时，需等待消抖时间 t_{OLD} 到期才会上报故障。这一消抖机制是为了防止在电流上升沿阶段 (如感性负载启动瞬间) 发生误报。当该消抖保护丧失后，PWM 每次切换时，续流 FET 开通瞬间电流尚未建立，OLD 比较器即立刻判定为开路故障并上报，形成连续误报。

此外，对于阻性或感值很小的感性负载，续流电流本身很小，容易低于 OLD 的触发阈值造成芯片误判断负载开路，这种情况下如果需要使能主动续流，需要使用负电流 OLD (Neg-Current OLD)，芯片的 OLD 判断阈值为 $-I_{OLD_NEG}$ ，以避免续流过程中 OLD 检测的误触发。

备注

该行为仅影响主动 OLD (Active OLD)，不影响被动 OLD (Passive OLD)。

2.1.3 应用建议

下表总结了不同配置组合下 OLD 连续误报的风险情况：

表 2-1. 主动续流模式下 OLD 连续误报场景汇总

控制方式	主动续流	OLD 重复误报风险	说明
ON/OFF	主动切换	无	消抖计时不受影响，可避免重复误报 OLD 故障
PWM	使能	有 (高风险)	HSS/LSS 均会持续报 OLD，消抖保护丢失
PWM	禁用	无	无续流 FET 切换，不触发该问题 [DW1]

对于纯阻性或者电感值小的感性负载，可以不开主动续流，直接规避误报的可能性。对于低频的负载考虑使用 ON/OFF 控制方式，续流在高低边切换过程中实现，过程中不会影响到 degitch 时间，也不会造成 OLD 的连续误报。

对于需要设定为 PWM 控制模式，并且使能主动续流的工况，可以采用被动 OLD 的检测方式，在输出使能前检测负载连接状态。目前常见的负载中仅 LED 驱动和 PWM 发生器需要用到 PWM 控制，PWM 发生器可以使用 LOLD 检测不会出现连续误报问题，LED 本身作为发光二极管，寄生电感值非常低，仅为 nH 级，通常不需要做续流。

对于已量产系统中出现的 OLD 连续误报，可以采用软件补丁的方式，即当首次 OLD 故障触发后，MCU 软件层面对同一半桥的后续 OLD 故障告警进行屏蔽，仅记录并响应第一次告警。

备注

若被测负载属于安全关键类型，禁用 OLD 需经过充分的 FMEA 分析，并在系统层面增加补充诊断措施以满足功能安全要求。

2.2 问题二：经过 Sleep-Wake 周期在 OLD 状态下如何保持输出

2.2.1 问题描述

DRV89xx-Q1 在首次上电后工作正常，输出电压稳定在 11 V。然而，经过一次睡眠-唤醒（nSLEEP 低-高切换）周期后，即便设置 OLD_OP = 1b（OLD 故障发生时保持输出高电平），输出电压仍为低；随后如果再执行 CLR_FLT，输出会出现伴随出现短暂高电平而无法保持，通道间电压掉落速度根据不同负载存在差异。

在一些使用场景中，即便是芯片检测到开路的情况下，也需要输出电压可以一直保持。比如 OLD 通道输出可能会同时给板内和板外供电，在板外负载发生开路时希望板内的供电电压能保持。

2.2.2 原因分析

问题成因涉及睡眠模式寄存器复位与软件控制逻辑的交互，分两个层面分析：

1. 睡眠模式导致寄存器全部复位：DRV89xx-Q1 进入睡眠模式（nSLEEP 低）时，芯片为了低功耗将数字核（digital core）关断，相应的用户配置寄存器配置也均会丢失，唤醒后自动恢复为默认值。其中关键默认值为：OLD_OP = 0b（OLD 故障发生时关断输出，进入 Hi-Z）；HBx_OLD_DIS = 0b（OLD 功能默认使能），即经过 sleep-wake 周期后，OLD 检测被默认打开，且 OLD 触发后默认关闭电压输出。
2. 通道伴随 CLR_FLT 命令产生输出却无法保持：在芯片唤醒后，寄存器已恢复默认值，此时设置为关闭 OLD 输出，CLR_FLT/使能输出指令到芯片检测到开路存在一定时间延时，在这个过程中高边通道使能芯片正常输出电压，直至 OLD 触发输出进入 Hi-Z。电压下降速率取决于负载，如果存在直接对地回路则可以快速放电。

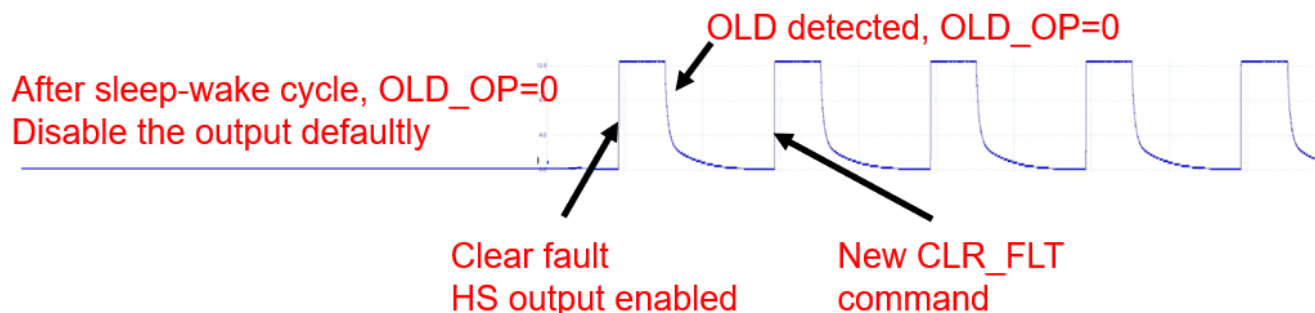


图 2-1. OLD 输出变化过程示意图

2.2.3 波形论证

结合波形进行论证，在负载开路状态下，设定为 nSLEEP 5 ms PWM，同时 SPI 每 10 ms 发送命令设定 OLD_OP = 1b：

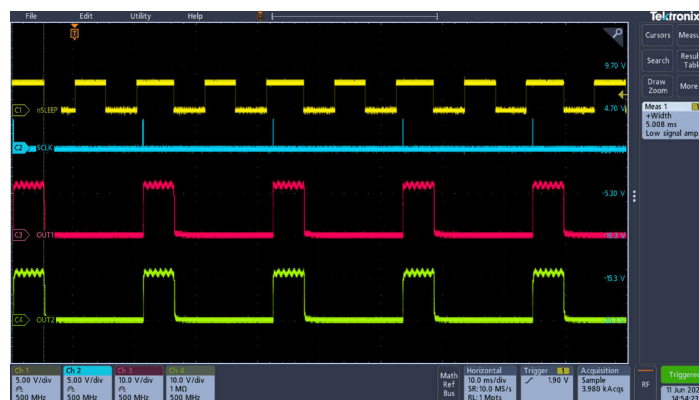


图 2-2. nsleep 周期和 SPI 指令对通道输出波形图

根据波形，OLD 状态下输出电压建立起点与 SPI 指令发送时刻对齐，输出持续时间与 nsleep 高电平保持一致，说明一旦进入 sleep 状态下，OLD_OP 设定回归默认值，通道输出关闭。

2.2.4 应用建议

推荐软件唤醒流程如下：

1. 拉高 nSLEEP → 等待 SPI Ready 时间 ($t_{WAKE} \approx 1\text{ ms}$) ；
2. 读取 IC_STAT 寄存器，检查 NPOR 位状态；
3. 若 NPOR = 0b (发生了数字核复位) ，立即通过 SPI 重新写入所有必要寄存器配置 (包括 OLD_CTRL_1/2/3/4、OP_CTRL、FW_CTRL 等) ；
4. 寄存器配置完成后，再写入 HBx_HS_EN / HBx_LS_EN 使能输出。

备注

NPOR 位是判断数字核心是否发生复位的关键指标。NPOR = 0b 表示所有寄存器已被重置为默认值，需完整重配后才能使能输出。对于频繁进入 Sleep 的应用，应在软件架构中为「唤醒后寄存器重配」保留固定执行路径，不可假设寄存器状态与进入 Sleep 前一致。

对于诊断连续性要求较高的场景，可考虑暂时避免使用 Sleep 模式，改用低功耗待机配置 (保持 nSLEEP = H，仅通过寄存器关断输出 FET)，以保留所有寄存器配置。

2.3 问题三：LOLD (低电流主动开路检测) 如何触发

2.3.1 问题描述

应用中发现配置低电流主动 OLD (LOLD) 时，即使将负载从输出端断开，也无法触发故障 (nFAULT 不拉低，IC_STAT 中 OLD 位不置位)。改为使用标准主动 OLD (Active OLD) 配置后，相同负载断开条件下可正确检测到开路状态并上报故障。

实际寄存器设置如下：HB3_LS_EN = 1b (低侧 FET 使能)，HB3_OLD_DIS = 1b (OLD 功能禁用)，HB3_LOLD_EN = 1b (LOLD 使能)。

测试条件：VM = 13.5 V，负载 3135 Ω 连接后断开。结果：nFAULT 始终保持高电平，LOLD 故障未被检测 (FAIL)。

2.3.2 原因分析

问题的根因在于 HBx_OLD_DIS 与 HBx_LOLD_EN 两个寄存器位的控制层级关系：

HBx_OLD_DIS = 1b 是完全禁用该半桥的所有 OLD 检测功能，包括主动 OLD、负电流 OLD 以及低电流 LOLD。该位是 OLD 的总开关，优先级最高。

HBx_LOLD_EN = 1b 的场景为：在 OLD 总体使能 (HBx_OLD_DIS = 0b) 的前提下，将该半桥低侧 FET 的 OLD 阈值切换至低电流模式 (IOLD_LOW)，同时禁用高侧 FET 的 OLD 检测，以防止高侧 FET 因 IOLD_LOW 阈值过低而产生误报。

因此，当 HBx_OLD_DIS = 1b 时，无论 HBx_LOLD_EN 为何值，整个 OLD 功能均被关闭，LOLD 无法工作。

完整的 OLD/LOLD 控制逻辑如下表所示：

表 2-2. HBx_OLD_DIS / HBx_LOLD_EN 控制逻辑

HBx_OLD_DIS	HBx_LOLD_EN	LS FET OLD	HS FET OLD	OLD 阈值	故障上报
0b	0b	使能	使能	IOLD (主动 OLD)	使能
0b	1b	使能	禁用	IOLD_LOW (LOLD)	使能
1b	/	禁用	禁用	/	禁用[DW1]

2.3.3 波形论证

以下通过四组测试波形验证寄存器配置的对应结果，测试均在 OUT3 通道进行，CH1：OUT3 输出电压，CH2：nFAULT 信号，CH4：通道电流。

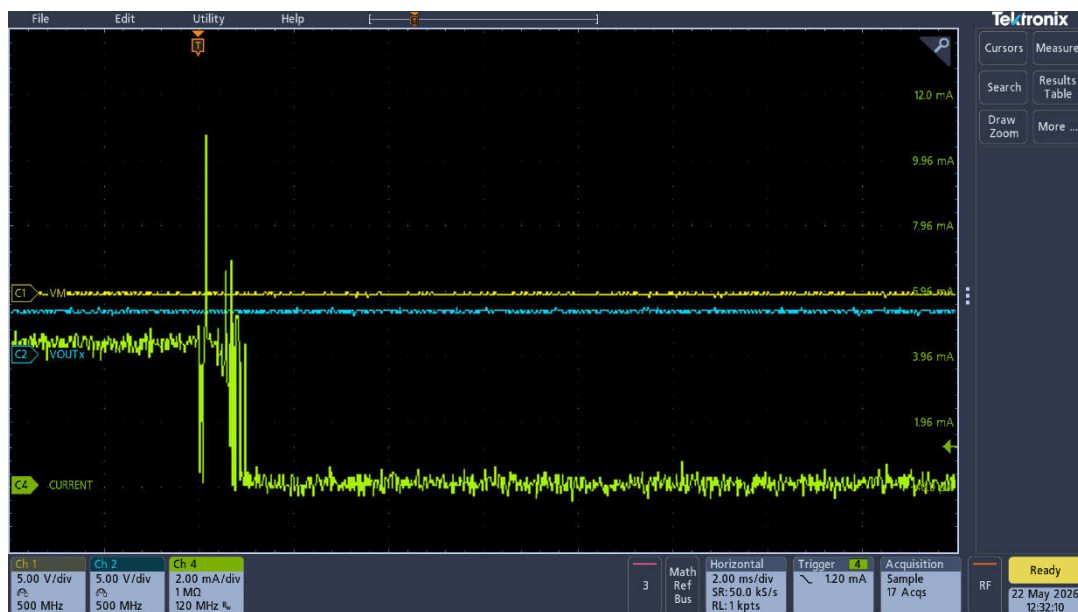


图 2-3. 测试 1 : HB3_OLD_DIS = 1b , HB3_LOLD_EN = 1b , 3135 Ω 负载

如图 2-3 波形所示，负载电流约 4.3mA，高于 LOLD 触发阈值的最大范围 (2mA)，负载正常连接时 LOLD 未触发；负载断开后，nFAULT 仍始终为高电平，OUT3 持续输出，无任何故障上报。OLD 功能被 HB3_OLD_DIS = 1b 完全关闭，LOLD 设置无效。

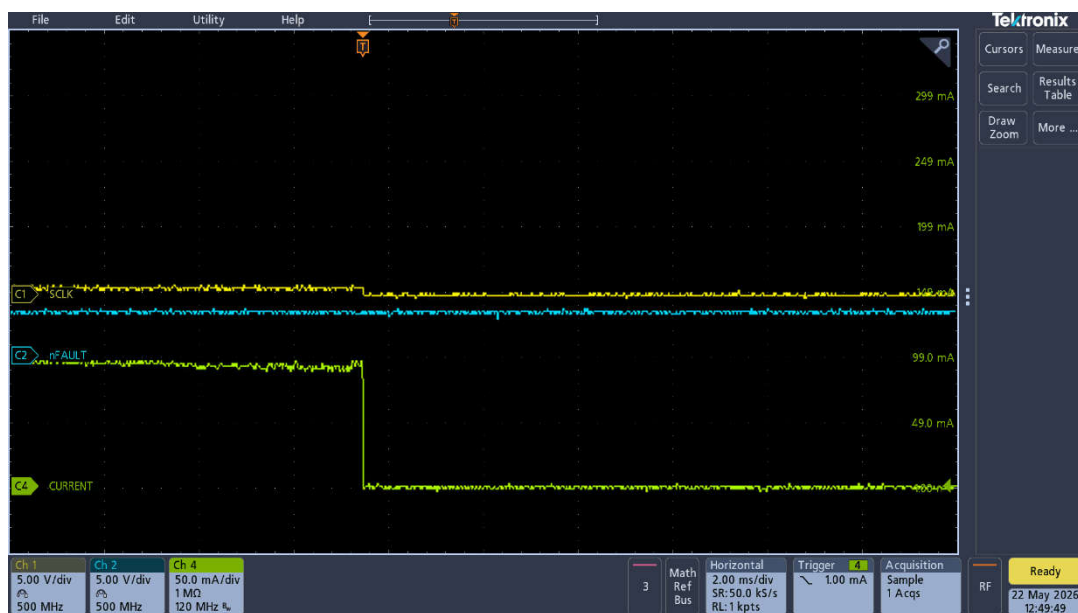


图 2-4. 测试 1 : HB3_OLD_DIS = 1b , HB3_LOLD_EN = 1b , 135 Ω 负载

将负载阻值降低至 135 Ω (电流增大)，nFAULT 仍无反应。此时 OLD 和 LOLD 都无法被触发。

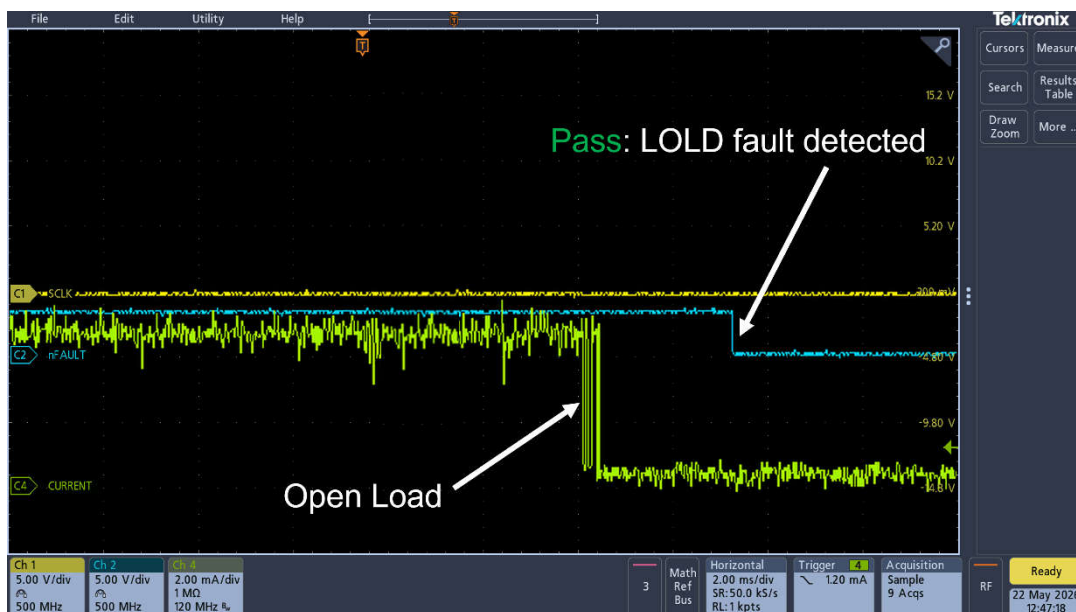


图 2-5. 测试 3 : HB3_OLD_DIS = 0b , HB3_LOLD_EN = 1b , 3135 Ω 负载

如图 2-5 波形所示，在正确的寄存器配置下，在负载电流为 4.3mA 时未触发 OLD 或 LOLD，此时电流低于 I_{OLD} 阈值（典型值 9mA），说明 Active OLD 未生效；负载断开后，nFAULT 拉低；并且在芯片的 IC_STAT 中 OLD 位置 1，开路故障成功上报，说明 LOLD 功能正常，并可以排除是 Active OLD 的影响。

2.3.4 应用建议

正确的 LOLD 配置步骤如下：①将 HBx_OLD_DIS 设为 0b (使能 OLD 总体功能)；②将 HBx_LOLD_EN 设为 1b (切换至低电流 OLD 模式)；③使能输出；④监测 nFAULT 信号及 IC_STAT 中的 OLD 位。

备注

LOLD 模式下 LS FET 的 RDS(on) 增大约 11 倍 (典型值约 $7.5\ \Omega$)，过流保护 (OCP) 阈值同步降低至原值的约 1/11 (最小值约 120 mA)。使用 LOLD 时需评估发热及保护裕量是否满足设计要求，建议仅在小电流场景下使用 LOLD，比如用于 PWM 控制信号生成。

3 结论

本文介绍了 DRV89xx-Q1 除了用于电机驱动之外的一些拓展应用场景，系统分析了在拓展应用中遇到的三类 OLD 检测典型问题，核心结论如下：

问题一（Active OLD 连续误报）：需要根据负载类型和电流大小判断使用 OLD 类型，注意由于续流电流过小在续流管上造成的 OLD 误触发。对于连续误报问题，大部分负载类型不需要同时满足 PWM 控制模式并同时开启主动续流，可以在模式选择时直接避免；如果存在这种特殊工况，可以通过软件接收第一次上报，后续 OLD fault 屏蔽，或者使用 Passive OLD 检测。

问题二（输出周期性跌落）：Sleep 模式导致寄存器复位为默认值（OLD 默认使能且故障时关断输出），CLR_FLT（包含使能输出）命令前后输出呈脉冲状上升后跌落。解决方案是唤醒后通过 NPOR 位检测复位事件，并在使能输出前重写所有必要寄存器。

问题三（LOLD 无法触发）：HBx_OLD_DIS = 1b 会完全禁用包括 LORD 在内的所有 OLD 功能，HBx_LOLD_EN 的功能依赖 HBx_OLD_DIS = 0b 这一前提。正确配置为 HBx_OLD_DIS = 0b 且 HBx_LOLD_EN = 1b，并且 LORD 仅可通过低边 FET 触发。

以上三类问题均为 DRV89xx-Q1 在用于电机驱动之外的新应用场景上，由于使用边界和器件行为不清晰所致，而非器件设计缺陷。在系统设计初期充分理解 OLD 功能的控制层级、Sleep 模式的寄存器复位行为，以及各 OLD 子功能的使用前提，可有效规避上述问题在量产阶段引起可靠性风险。

4 参考文档

1. [DRV8908-Q1 Datasheet \(SLVSEC9C\)](#), Texas Instruments, Revised February 2020.
2. [DRV8908-Q1 Functional Safety, FIT Rate, Failure Mode Distribution and Pin FMA](#)
3. [Open Load Detection in Integrated Drivers \(Rev. C\)](#)

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 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月