

本文主要阐述了多路半桥驱动SiLM94112驱动芯片应用中，输出负载开路保护功能的应用方法及其注意事项。

SiLM94112 概述及开路检测介绍

SiLM94112 是一款带有多种保护功能的十二路半桥驱动芯片，广泛应用于汽车中的各种电机控制。通过 SPI 通信接口，SiLM94112 可以实现灵活的电机控制。该芯片具有正向、反向、刹车等多种控制模式。PWM 模式下可配置 80Hz，100Hz，200Hz 和 2kHz 四种频率。SiLM94112 主要特点在于其多重保护诊断功能，包括短路、过流、开路、电源故障及过温保护等。保护和诊断功能对于任何系统来说都具有重要意义，诊断特性可以提高应用系统的鲁棒性和可靠性。

开路保护是指检测输出端子是否与负载断开，以满足系统更安全，更强壮要求。分为被动开路检测和主动开路检测。被动开路检测主要用于离线开路检测，避免在电路启动工作的时候由于负载开路导致异常。主动开路检测主要用于在线开路检测。主动开路检测时，系统已经开始工作，芯片实时监测负载电流大小。SiLM94112 的开路保护就是主动开路检测。

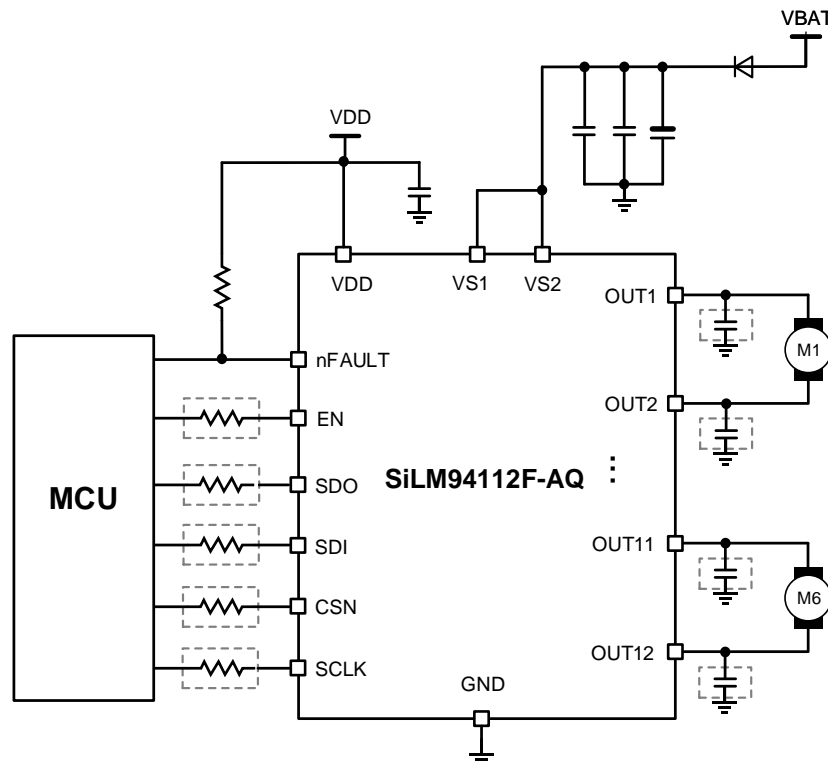


图 1. SiLM94112 典型应用图

SiLM94112 开路保护原理

SiLM94112 在导通内部集成 MOSFET 时，通过检测流经该 MOSFET 电流大小，将得到的电流值与基准值在一定时间内持续进行比较，从而判断外部输出负载是否开路。若电流小于基准值，且持续时间大于滤波时间，芯片上报负载开路故障。当正向流过内部 MOS 管的电流小于内部基准值时，上报开路故障；反向流过内部 MOS 管的电流小于反向的内部基准值时，也会上报开路故障。

以芯片上管内部电路检测原理为例，简单介绍内部原理。如图 2 所示， I_{REF_P} 为正向参考阈值电流， I_{REF_N} 为反向参考阈值电流，OLP 或 OLN 为上报开路告警信号，若为高，芯片会上报开路 (OL) 告警。检测原理如下：正向电流 I_{SOURCE} 流过 MOS 管的漏极和源极，OLP 开始检测；反向电流 I_{SINK} 流过 MOS 管的漏极和源极，OLN 开始检测。当空载时，OLP 为高，OLN 也为高，上报开路告警；当 OUT 端拉电流，但是 $I_{SOURCE} < I_{REF_P}$ 时，OLP 为高，上报开路告警。如果 OUT 端是灌电流，但是 $I_{SINK} < I_{REF_N}$ 时，OLN 为高，上报开路告警。

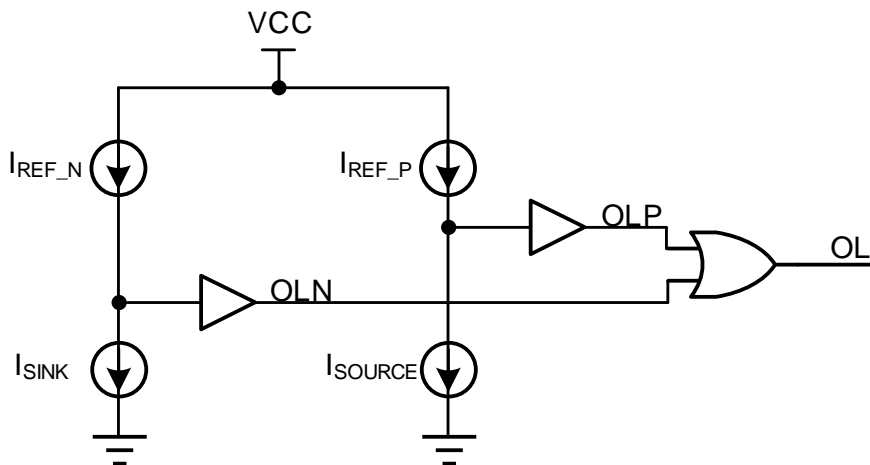


图 2. 电流检测示意图

开路故障电流检测，不但有电流大小幅值的检测，还需要电流持续一定的时间，避免误判。SiLM94112 芯片的开路保护滤波时间典型值为 3ms。

应用注意事项

在使用 SiLM94112 时，对于连续运行模式，负载为阻性负载时，情况比较简单。若负载电流小于开路检测阈值，上报开路故障；若负载电流大于开路检测阈值，则不上报。如图 3 所示，HS1 导通，OUT1 输出为高，流过 HS1 电流小于开路检测阈值，上报开路故障。

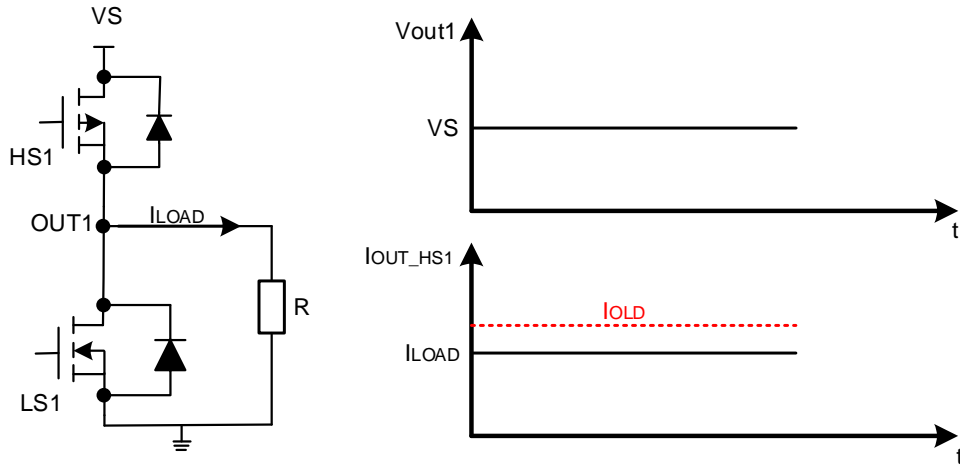


图 3. OUT1 为高，输出带阻性负载，电流小于开路检测阈值，上报 OL 告警

当负载为阻性，运行模式为 PWM 时，情况略微复杂。在某些 PWM 情况下，即使负载电流小于电流检测阈值，如果低电流持续时间小于滤波时间时，芯片也检测不到开路，不会上报开路故障。如图 4 所示，设置 HS2 为主管，LS2 为续流管，PWM 设置为 200Hz，周期为 5ms，当占空比为 50% 时，导通时间 T_{ON} 为 2.5ms，该时间小于开路保护的滤波时间 $T_{OLD} = 3ms$ 。在这种情况下，负载电流小于开路检测阈值，但是由于不满足滤波时间的要求，芯片检测不到开路故障，不会上报开路故障告警。

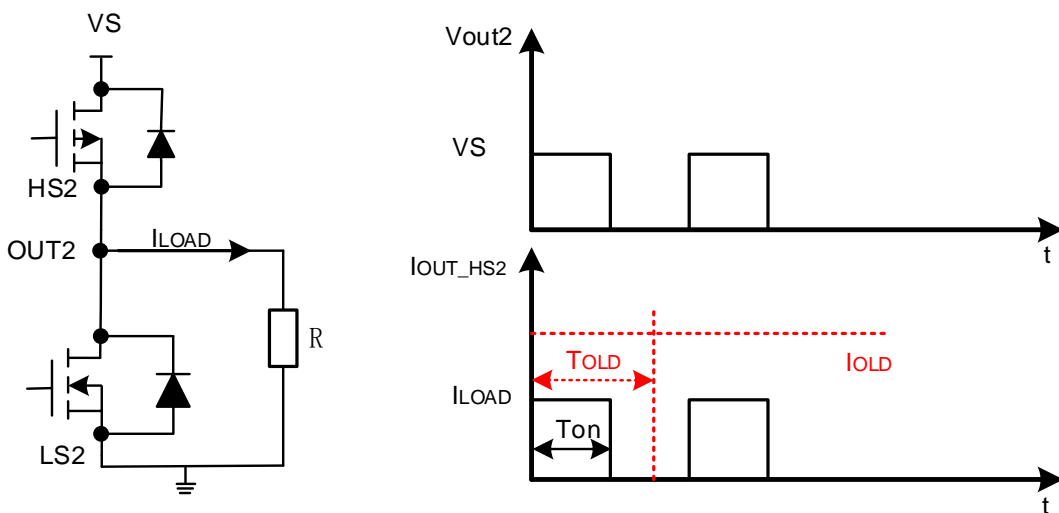


图 4. OUT2 为 PWM 输出，负载电流小于开路检测阈值，但 T_{ON} 时间小于滤波时间，不上报 OL 告警

当负载为感性负载时，情况变得更为复杂。如图 5 所示，当负载为电机，其中 HS3 为常开，LS3 常闭，LS4 和 HS4 为 PWM 运行。

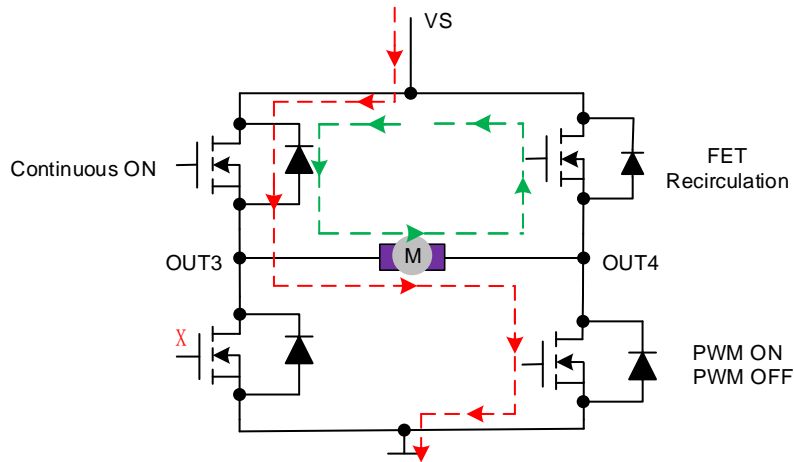


图 5.OUT4 高边续流，反向开路电流检测

当 LS4 开通，电机蓄能；LS4 关断时，电机电流通过 HS4 续流，各器件波形如图 6 所示。对于上管 HS4 来说，由于在续流的时候，不论电机续流电流多大，流过续流管 HS4 都是反向电流。若芯片只具备正向开路检测，HS4 都会被判断为开路状态，导致开路误报警。

SiLM94112 具备反向开路检测，则它会根据实际电流方向来判断。当反向电流小于反向的开路检测阈值，上报开路故障；当反向电流大于反向的开路检测阈值，不上报开路故障；从而正确的判断负载不是处于开路状态。图 6 所示电机运行情况下，是会上报 OL 故障。

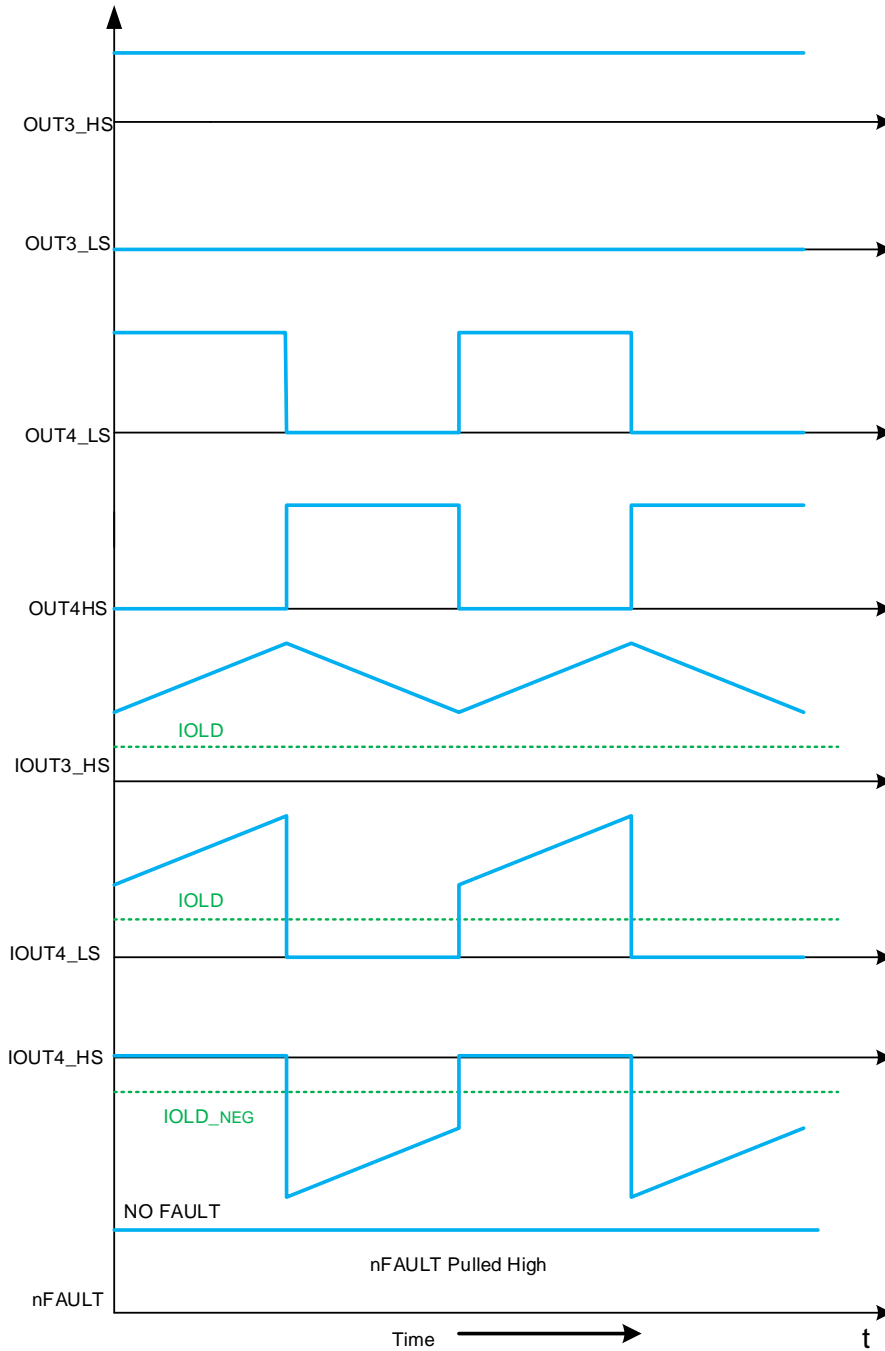


图 6.高边 HS4 续流时各器件波形，无开路故障告警

另外，对于相对复杂的控制策略或者特殊要求的控制场合，SiLM94112 可以通过一个寄存器位 **DIS_OL_NEG** 来配置续流管的开路检测功能。如果 **DIS_OL_NEG=0**，使能续流管的开路检测，能够正确监测开路状态。如果 **DIS_OL_NEG=1**，续流管的开路检测不使能，也就是续流管不会上报开路故障。

总结

综上所述，SiLM94112 的开路故障检测为主动开路检测，可以判断系统在工作时负载运行状态，适用于直流运行和 PWM 运行情况下的检测。需要注意的是 PWM 运行状态下，低负载电流需要同时满足开路检测阈值和滤波时间条件才能准确上报开路故障。

参考资料

1. [SiLM94112 规格书](#)