

TI Designs: TIDA-01600

适用于伺服驱动器和机器人的智能制动控制和诊断参考设计



说明

此参考设计提供双通道输出信号来控制外部制动闸，从而可按照 IEC EN 61800-5-2 实现安全制动控制功能。当电源切断时，制动闸锁定；当在线圈上施加电压时，制动闸释放。此设置是通过启用/禁用为线圈供电的智能电子负载开关实现的。此参考设计还包括可检测各种故障的诊断功能，确保制动闸输出点的安全运行和电压降低，从而降低功耗。该设计还利用 C2000™ LaunchPad™ 来生成制动控制信号并执行诊断功能。

资源

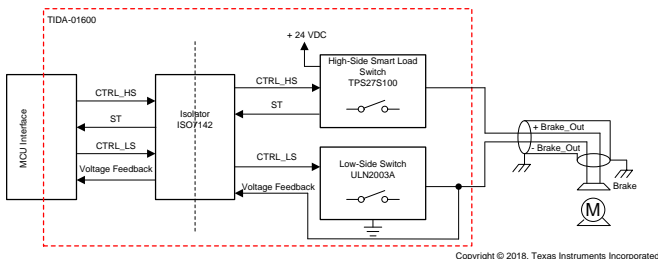
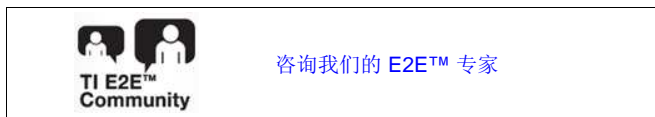
| | |
|----------------------------|-------|
| TIDA-01600 | 设计文件夹 |
| ISO7142CC | 产品文件夹 |
| TPS27S100 | 产品文件夹 |
| ULN2003A | 产品文件夹 |
| LMZ14201 | 产品文件夹 |
| TPS7B69-Q1 | 产品文件夹 |
| TVS3300 | 产品文件夹 |

特性

- 可实施符合 EN 61800-5-2 规定要求的安全制动控制
- 具有高达 2A 电流且通过隔离式控制信号控制的 24V 额定制动闸
- 可改善安全运行的双开关控制
- 涵盖 开路 检测和过流保护的自诊断功能
- 高侧开关故障检测
- 可通过快速减小制动闸电流快速应用制动闸
- 可以选择减小制动闸输出点的电压，从而降低功耗

应用

- 伺服驱动器、机器人和 CNC
- 制动闸控制器



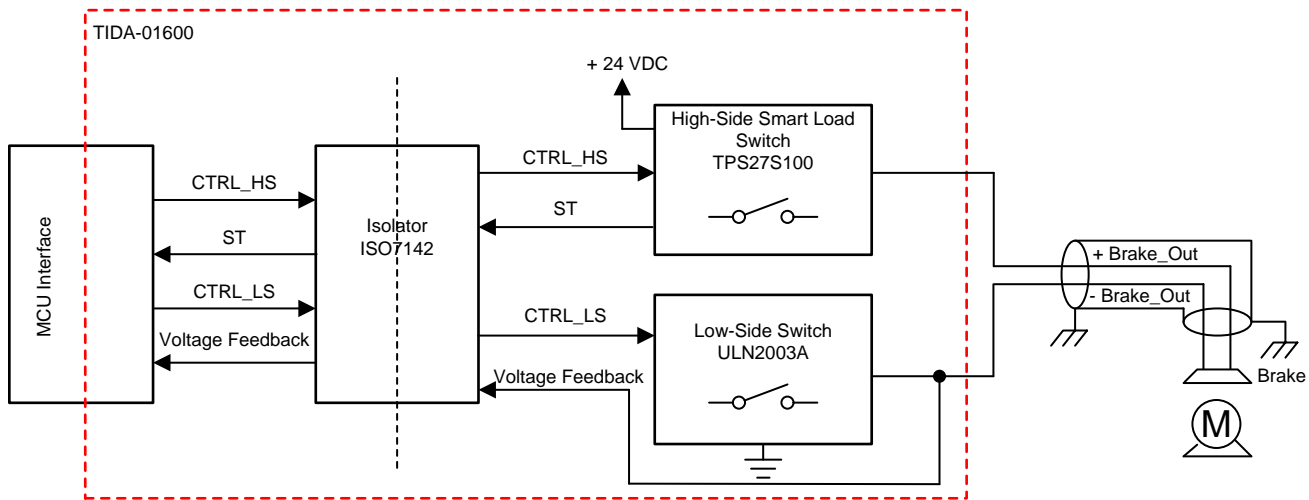
该 TI 参考设计末尾的重要声明表述了授权使用、知识产权问题和其他重要的免责声明和信息。

1 系统说明

变速驱动器广泛用于各种应用，包括机器人和计算机数控 (CNC) 机器。安全一直以来都是大家非常关注的问题，因为无论什么时候，这些与人类息息相关的系统都会涉及到保持和运动控制。我们新近开发的具有内置安全相关特性的驱动器摒弃了传统的控制方法，无需再使用停机和转速监控器、限位开关、位置摄像头和接触器等，这大大提高了系统的可靠性。自动化生产过程中存在着大量风险因素，特别是垂直运动情况下的重力，如果发生电源故障或制动装置失灵，后果将不堪设想。“安全制动控制”(SBC) 功能可实现制动器的安全控制，从而防止吊挂荷载掉落。在 CNC 机器中，SBC 可防止由于外力作用而发生移动。

SBC 符合变速驱动器的 EN 61800-5-2: 2007 功能安全标准。SBC 会提供安全的输出信号来驱动外部机械制动器。所使用的制动器必须是安全制动器，其静态电流用于对抗弹簧的作用力。如果电流中断，则制动器啮合。控制模块通常具有降功特性，可在制动器松脱后减少能耗或制动器发热。具有吊挂荷载的轴上通常会使用保持制动器和行车制动器。SBC 功能通常用于控制保持制动器，且会在轴停止时立即激活。

本参考设计为额定电流最高为 2A 的保持制动器实施了 SBC 功能。本设计将 TPS27S100 用作高侧智能开关，将 ULN2003A 用作低侧开关。我们实施了双开关控制来确保制动器的安全运行。通过数字隔离器 ISO7142 将制动器控制信号与控制器隔离。通过 TPS27S100，本设计可以在制动器输出上检测开路和短路情况，从而提高系统的安全性。低侧开关上的 PWM 会减小制动线圈的输出电压，从而减少制动器通电时的功耗。负载开关消除了离散元件，提高了系统的可靠性。图 1 是本参考设计的方框图。



Copyright © 2018, Texas Instruments Incorporated

图 1. TIDA-01600 的方框图

1.1 主要系统规格

表 1 显示了本参考设计的主要系统规格。

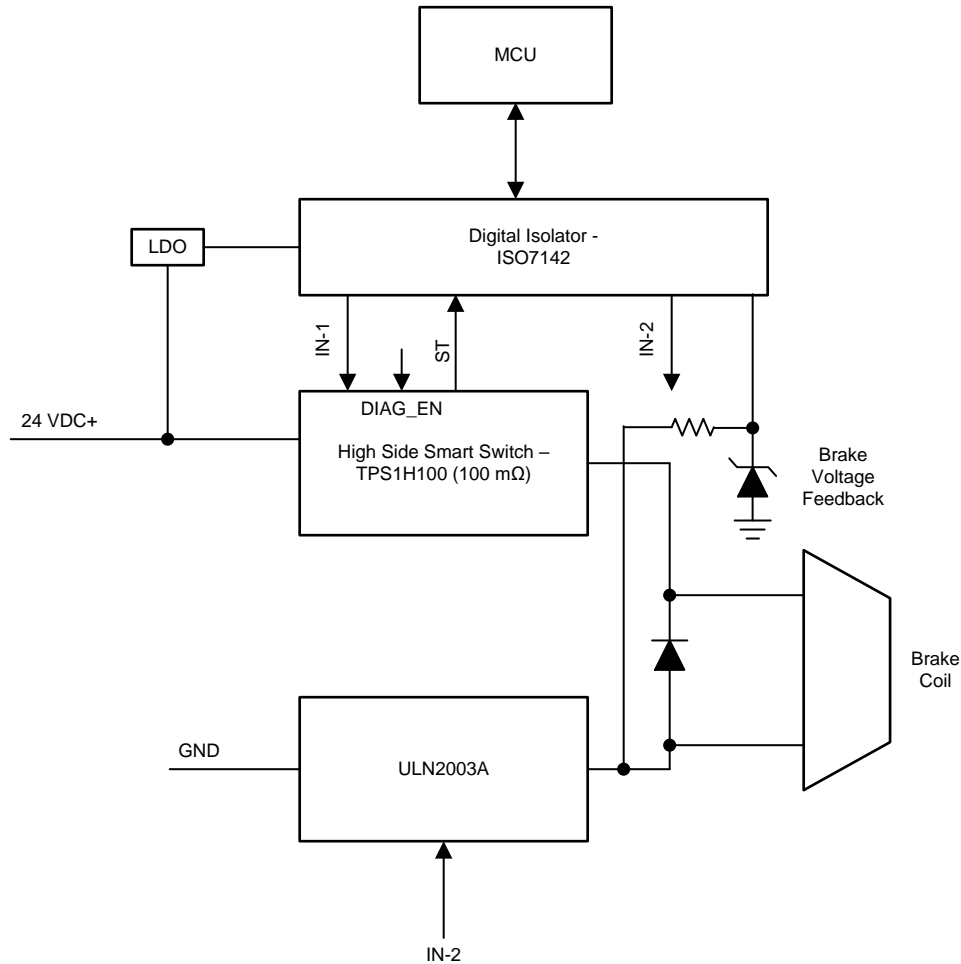
表 1. 主要系统规格

| 参数 | 规范 |
|-------------|--------------------------|
| 标称输入电压 | +24V (+15%) |
| 不进行降压时的输出电压 | 输入 - 1V (标称值) |
| 进行降压时的输出电压 | 0V 至 23V |
| 制动器电流 | 最高 2A |
| 开关频率 | 10kHz |
| 硬件冗余 | 1 |
| 保护 功能 | 开路负载检测 |
| | 过流保护 |
| | 错误制动激活检测 |
| 释放时间 | < 100ms |
| 制动时间 | < 200ms |
| 降压时间 | 可通过 MCU 对该时间进行编程 (最长 1s) |

2 系统概述

2.1 方框图

图 2 是本参考设计的系统级方框图。



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

图 2. TIDA-01600 的系统级方框图

本设计提供了一种在伺服驱动器中实施 SBC 的参考解决方案。SBC 功能可提供安全输出信号，来控制外部制动器。它可以控制额定电流最高为 2A 的保持制动器。本设计的主要部件包括 ISO7142 数字隔离器、高侧智能开关 TPS27S100 和低侧开关 ULN2003A。制动线圈连接在这两个开关之间。微控制器 (MCU) 产生的数字输入信号会通过数字隔离器打开和关闭这些开关。

该电路板通过两个外部 24V 电源供电。MCU 和数字隔离器的 VCC1 使用 LMZ14201 SIMPLE SWITCHER[®]通过 24V 电源提供的 3.3V 输出进行供电。高侧开关和数字隔离器的 VCC2 使用 TPS7B6933 LDO 通过 24V 电源提供的 3.3V 输出进行供电。

该系统具有过载、短路和过热保护，而且可以检测开路负载。TPS27S100 的状态输出引脚会产生对应于开路负载检测以及短路和过热保护的故障信号。系统会将该故障信号通过隔离器馈送至 MCU。来自制动线圈的电压反馈可用于监控意外接通，还可用于调整来自制动线圈的电压。您可以在 ULN2003A 低侧开关上选配 PWM 特性，以便控制制动线圈的峰值和保持电流。

2.2 重点产品

2.2.1 ISO7142

ISO7142CC 可针对最高 $2500V_{RMS}$ 的电压提供 1 分钟的电隔离（UL 标准），以及提供 4242V 的峰值电压电隔离（VDE 标准）。ISO7142CC 是一款四通道隔离器，其中正反向通道各两个。此器件在由 5V 电源供电时的最大数据传输速率为 50Mbps，而在由 3.3V 或 2.7V 电源供电时的最大数据传输速率为 40Mbps。ISO7142CC 器件的输入端集成有滤波器，适用于易受噪声干扰的应用。图 3 是该器件的引脚图。

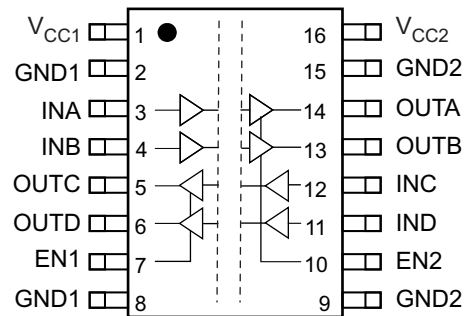
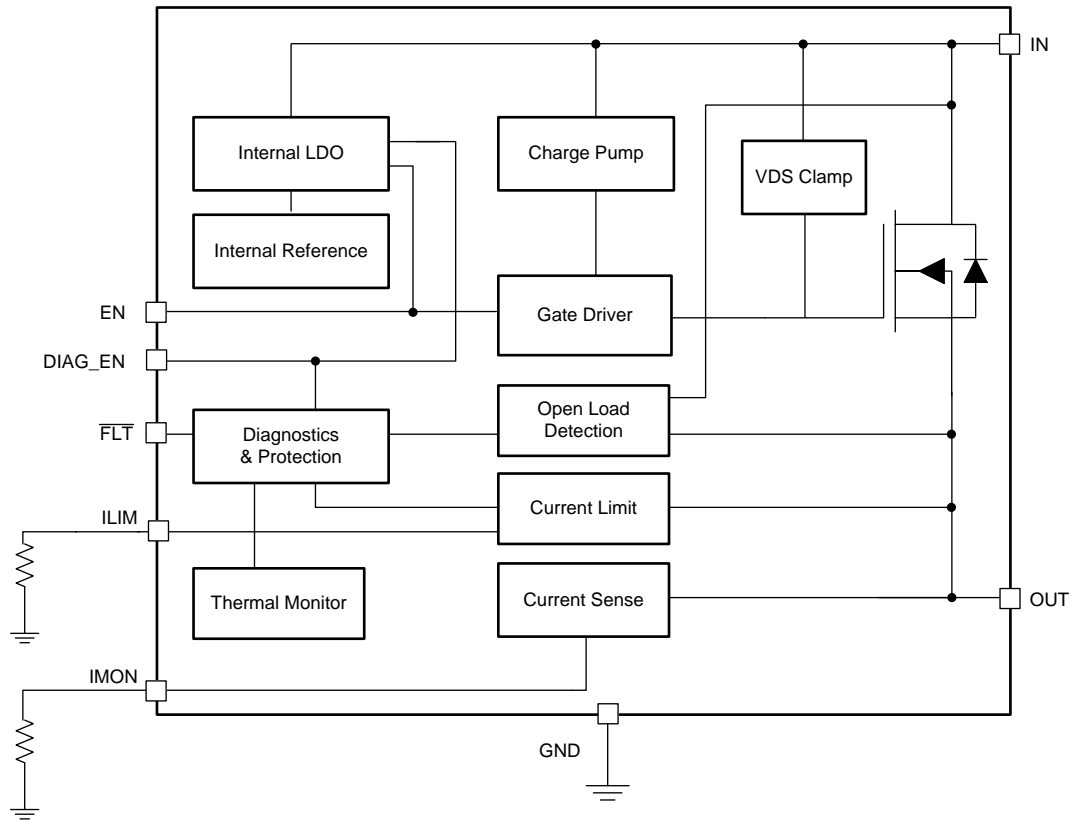


图 3. ISO7142 的引脚图

2.2.2 TPS27S100

TPS27S100 是一款受到全面保护的单通道高侧开关，具有集成式 NMOS 和电荷泵。全面的诊断功能和高精度电流监控器功能，可对负载进行智能控制。可调节电流限制功能能够极大地提高整个系统的可靠性。器件诊断报告具有两个版本，以支持数字故障状态和模拟电流监控器输出。精确的电流监控器和可调节电流限制特性使该器件从市场中脱颖而出。图 4 是 TPS27S100 的功能方框图。



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

图 4. TPS27S100 的功能方框图

2.2.3 ULN2003A

ULN2003A 器件是一个高电压、高电流达灵顿晶体管阵列。这款器件具有 7 个 NPN 达灵顿对，它们可通过共阴极钳位二极管实现高电压输出，从而开关感性负载。单个达灵顿对的集电极电流额定值为 500mA。将达灵顿对并联可以提供更高的电流。ULN2003A 器件的每个达灵顿对都具有一个 2.7kΩ 的串连电阻器，可直接用于 TTL 或 5V CMOS 器件。图 5 是 ULN2003A 的方框图。

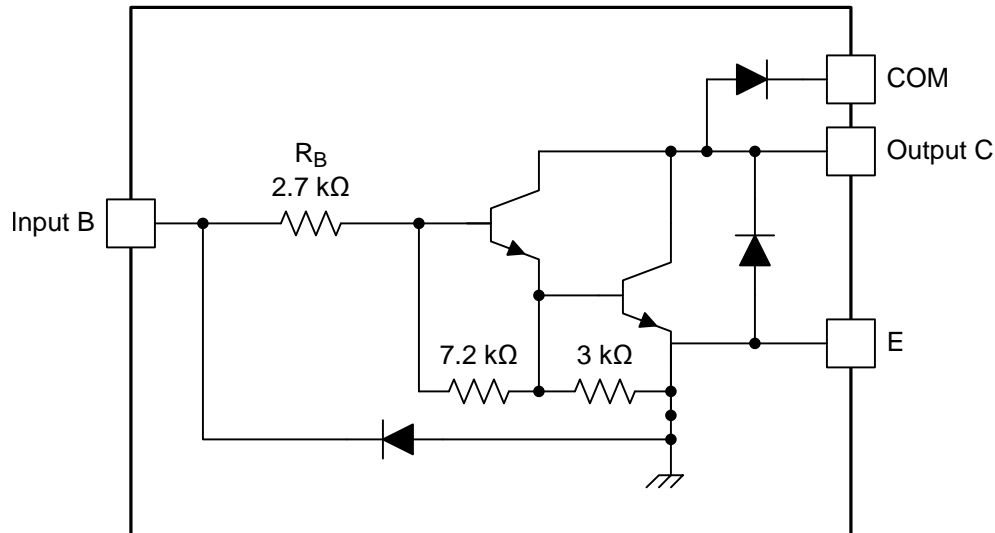


图 5. ULN2003A 的方框图

2.2.4 LMZ14201

LMZ14201 SIMPLE SWITCHER 电源模块是一款易于使用的降压直流/直流解决方案，可驱动最高 1A 的负载，并具有出色的电源转换效率、线路和负载调节以及输出精度。LMZ14201 可接受 6V 到 42V 之间的输入电压轨，提供低至 0.8V 的可调且高精度输出电压。

2.2.5 TPS7B6933

TPS7B6933-Q1 高电压线性稳压器可在 4V 至 40V 的输入电压范围内运行。该器件可输出 150mA 的电流，并提供 3.3V 的固定输出电压。该器件具有热关断和短路保护功能，可防止在过热和过流情况下造成损坏。

2.2.6 TVS3300

TVS3300 是一种单向精密浪涌保护钳位器，工作电压为 33V，专门为保护工业、通信和工厂自动化领域中使用中电压轨的系统而设计。应用的需求。TVS3300 可在存在浪涌电流时快速响应，因此在钳位期间不存在过冲电压，这使其成为了传统 TVS 和齐纳二极管的理想替代方案。

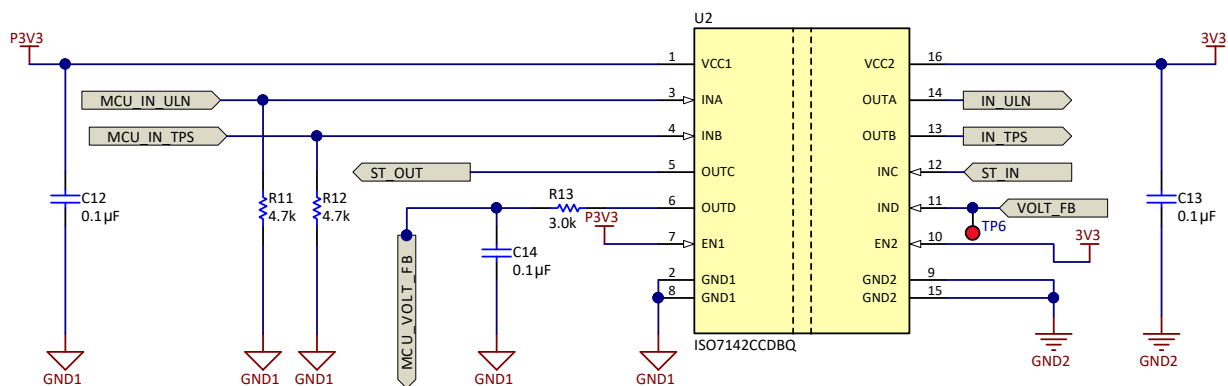
2.3 系统设计原理

2.3.1 直流电压输入

本参考设计适用于在 24V (+15 %) 的直流电压下运行。电路板上有两个独立的连接器，用于为初级侧和次级侧提供 24V 电源。J1 是为初级侧提供 24V 直流电压的输入连接器。直流电压可在连接器 J2 处施加到本参考设计上。TVS3300 是在双向配置内连接的 33V 精密钳位器，可在高压瞬态期间提供保护。电感器 L1 和电容器 C8 组成了功率滤波器。

2.3.2 低功耗四通道数字隔离器

MCU 通过 ISO7142 数字隔离器发送控制信号，独立地驱动高侧和低侧开关。此外，来自高侧开关的状态引脚输出（可提供故障状态的诊断范围）和来自制动线圈的电压反馈会通过数字隔离器反馈至 MCU。图 6 显示了 ISO7142 的电路。



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

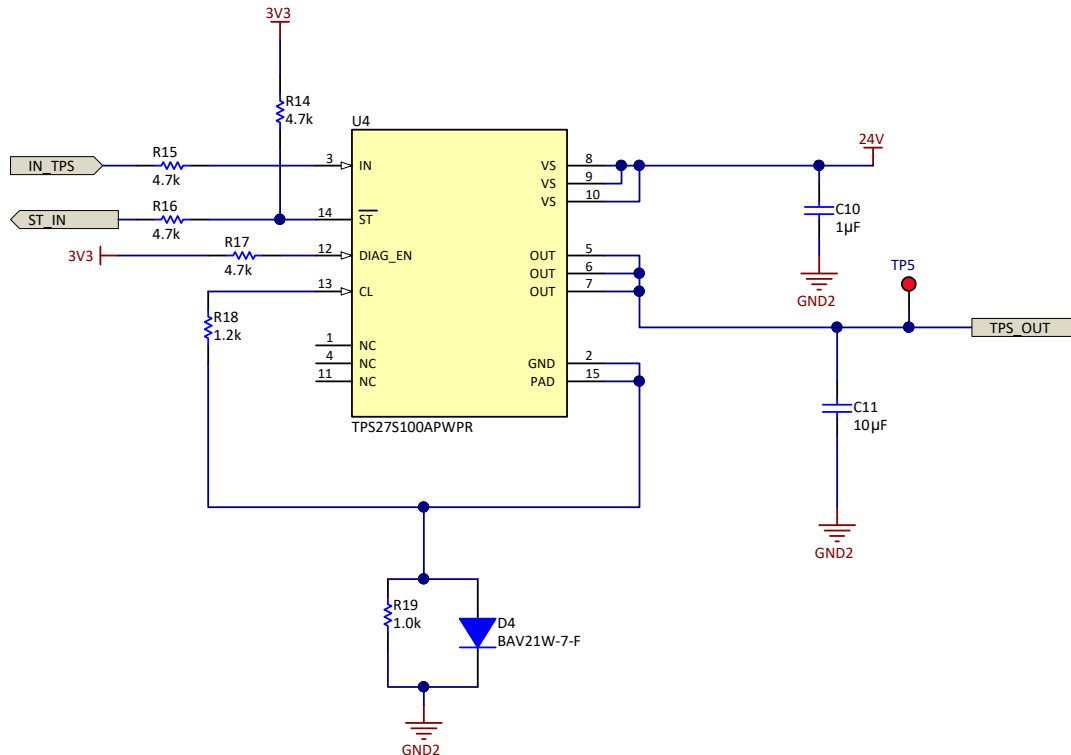
图 6. 数字隔离器 ISO7142 的原理图和电路

VCC1 引脚上施加的是使用 LMZ14201 SIMPLE SWITCHER 生成的 3.3V 电压（正如在节 2.2.4 中所解释的）。C12 (0.1µF) 用作 VCC1 引脚的局部去耦电容器。隔离器的 EN1 引脚连接至高电平，以启用初级侧中的输出通道。

VCC2 引脚上施加的是使用 TPS7B6933 LDO 生成的 3.3V 电压（正如在节 2.2.5 中所解释的）。C13 (0.1µF) 用作 VCC2 引脚的局部去耦电容器。隔离器的 EN2 引脚连接至高电平，以启用次级侧中的输出通道。

2.3.3 高侧开关

本参考设计使用 TPS27S100 作为高侧开关。图 7 显示了高侧开关的电路。



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

图 7. 高侧开关 TPS27S100 电路的原理图

该开关通过 24V 外部电源供电。IN 引脚是用于激活该开关的控件。输入信号由 MCU 提供。连接到 CL 引脚的电阻器会设置电流限值。本参考设计旨在获得 2A 的电流限值。用于设置该限值的电阻器值可通过公式 1 计算得出：

$$R18 = \frac{V_{LIM(TH)} \times K_{(ILIM)}}{I_{OUT}} = \frac{1.233 \text{ V} \times 2000}{2 \text{ A}} = 1.2 \text{ k}\Omega \quad (1)$$

使能引脚 (DIAG_EN) 永久连接到 3.3V 电源轨，以实现持续诊断监控。FLT 引脚是开漏诊断状态输出。电阻器 R14 是连接的上拉电阻器，用于获取数字信号输出。FLT 引脚会在检测到过流、短路、热关断或开路情况时变成低电平。输出引脚通过连接器 J5 连接至制动线圈的一端。R19 和 D4 形成 GND 网络，以保护器件免受反向电流的损害。连接电阻器 R15、R16 和 R17 则是为了在过流情况下为 MCU 提供保护。

2.3.4 低侧开关

本参考设计使用 ULN2003A 作为低侧开关，这是一个高电流达林顿晶体管阵列。图 8 显示了低侧开关的电路。

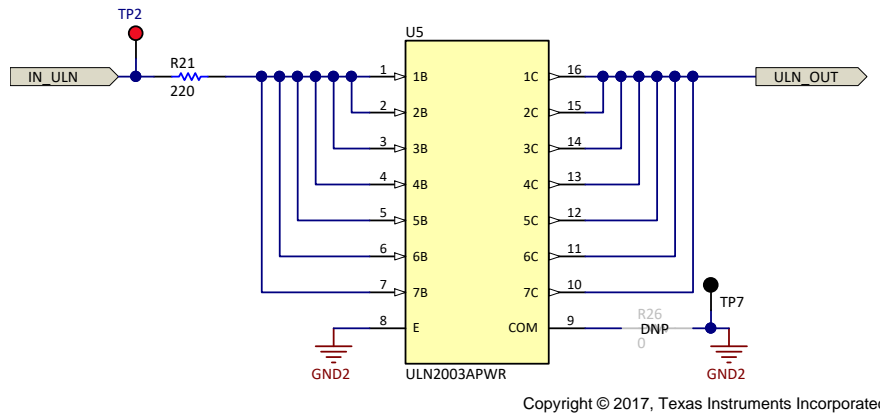


图 8. 低侧开关 ULN2003A 电路的原理图

ULN2003A 由 7 个达林顿晶体管对组成，每对都具有 500mA 的额定电流。所有晶体管对都是并联的，因此可提供更高的电流。用于激活该开关的输入信号由 MCU 提供。系统通过连接器 J5 将该开关的输出提供给制动线圈的另外一端。

2.3.5 缓冲器电路

图 9 显示了跨过制动线圈连接的缓冲器电路。开关打开时，如果电流减少，线圈的电感就会产生反极性电压，这会损坏开关。电阻器 R20 和 R25 均与通信二极管 D3 串联，它们又作为一个整体与制动线圈并联，以提高制动线圈的退磁速度，从而保护开关免受高反向电压瞬态的影响。

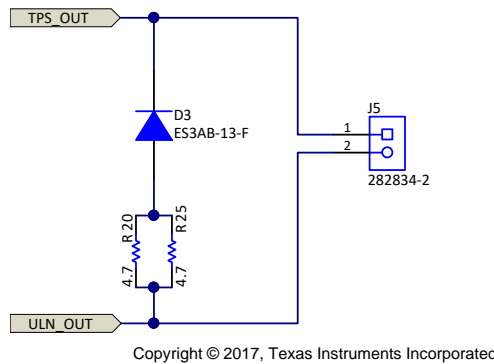


图 9. 缓冲器电路的原理图

2.3.6 来自制动线圈的电压反馈

制动线圈的电压反馈取自低侧开关，而后会通过数字隔离器馈送至 MCU。该反馈过程是为了监控输出电压并据此调整低侧开关的输入 PWM 信号。电阻分压器用于将电压从 24V 降低至 3.3V，以将其馈送至 MCU。图 10 显示了制动器电压反馈电路。

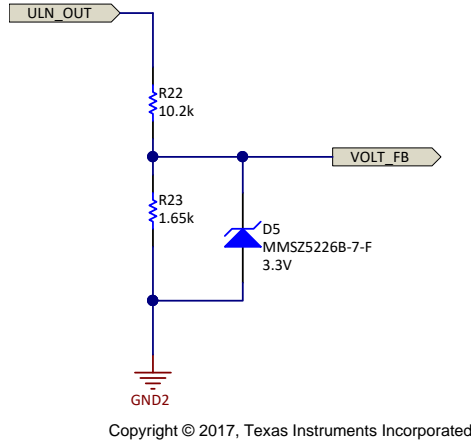


图 10. 制动器电压反馈电路原理图

2.3.7 电源

2.3.7.1 使用 LMZ14201 生成 3.3V 电压

LMZ14201 是一个用于为初级侧供电的降压型直流/直流电源模块。此器件通常用于将较高的直流电压转换为较低的直流电压，最大输出电流为 1A。本设计使用 LMZ14201 将 24V 输入电压转换为 3.3V，从而为隔离器的初级侧和 MCU 供电。图 11 显示了 LMZ14201 的电路。

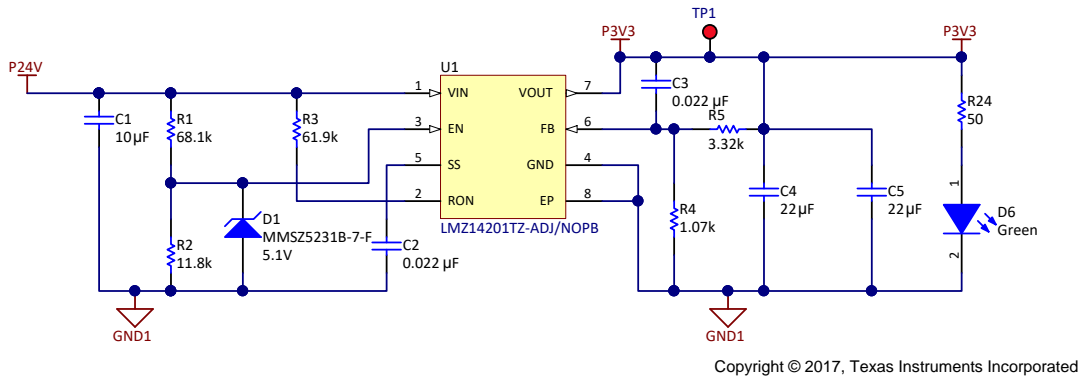


图 11. 使用 LMZ14201 生成 3.3V 电压的原理图

输出电压由 VO 和地面之间连接的两个电阻器组成的分压器决定。分压器的中点连接至 FB 输入端。FB 电压与 0.8V 内部基准进行比较。在正常运行状态下，当 FB 引脚上的电压降至 0.8V 以下时，将启动接通时间周期。主要的 MOSFET 接通时间周期会导致输出电压升高，并导致 FB 上的电压超出 0.8V。只要 FB 上的电压高于 0.8V，接通时间周期就不会出现。

稳压输出电压由外部分压电阻器 R5 和 R4 决定：

$$V_O = 0.8 \text{ V} \times \left(1 + \frac{R5}{R4} \right) \quad (2)$$

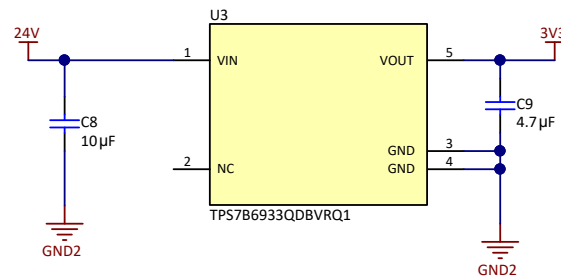
整理各项，可实现所需输出电压的两个反馈电阻器的比值为：

$$\frac{R5}{R4} = \frac{V_O}{0.8 \text{ V}} - 1 \quad (3)$$

所选电阻器的阻值必须在 1.0kΩ 至 10.0kΩ 范围内。本参考设计使用 3.32k 的 R5 和 1.07k 的 R4 来生成 3.3V 的输出电压。

2.3.7.2 使用 TPS7B6933 生成 3.3V 电压

次级侧上的数字隔离器需要一个 3.3V 的电源来为其供电。因此，本设计中使用 TPS7B6933 将 24V 转换为 3.3V，从而为隔离器的次级侧和高侧开关供电。图 12 显示了 TPS7B6933 的电路。



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

图 12. 使用 TPS7B6933 生成 3.3V 电压的原理图

3 硬件、测试要求和测试结果

3.1 所需硬件

本节介绍本参考设计的 PCB 的俯视图和仰视图。本节还介绍了电源要求和用于连接外部世界的连接器。

3.2 PCB 概述

图 13 是 PCB 的俯视图。该图中突出标示了高侧和低侧开关。

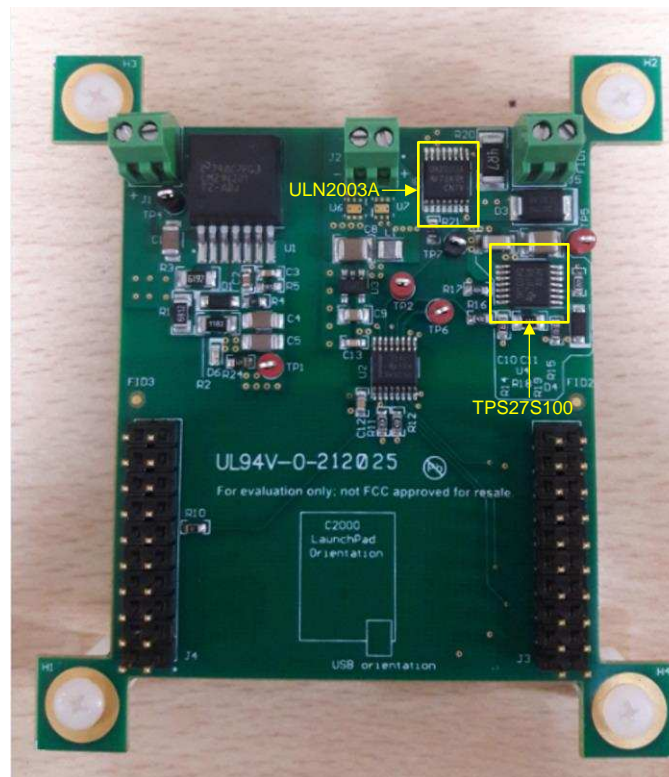


图 13. PCB 的俯视图

3.2.1 连接器

表 2. 连接器

| 连接器 | 用途 |
|-----|--------------------------------|
| J1 | 为电路板初级侧供电的 24V_VIN 电源 |
| J2 | 为电路板次级侧供电的 24V_VIN 电源 |
| J3 | 连接至 C2000 LaunchPad 的 20 引脚连接器 |
| J4 | 连接至 C2000 LaunchPad 的 20 引脚连接器 |
| J5 | 用于连接制动线圈的输出连接器 |

3.3 测试和结果

本节显示可用于评估设计中指定的功能和性能的测试结果。本参考设计在测试时使用的是具有制动线圈的 1kW 伺服电机。制动线圈通过 24V 直流电供电，线圈的额定电流为大约 0.81A。线圈的电感测量值为大约 65.35mH，电阻为大约 30.8Ω。

3.3.1 测试结果

3.3.1.1 功能测试

图 14 显示了制动线圈电流、制动线圈上的输出电压以及提供给低侧开关的使能 PWM 信号。图 15 和图 16 分别显示了制动线圈电流的上升沿和下降沿。当使能 PWM 信号变成高电平时，制动器电流会从零开始向上攀升，达到 740mA 的最大电流。当使能信号变成低电平时，电流开始衰减，然后达到零。制动线圈电流的衰减速度取决于跨过制动线圈连接的二极管和晶体管。

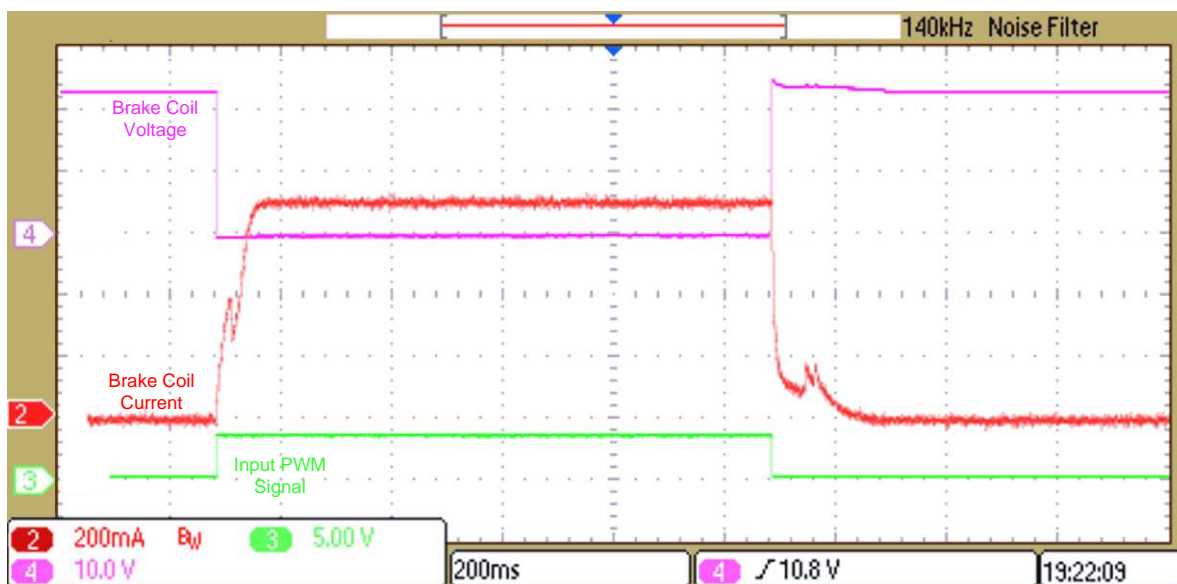


图 14. 制动线圈电流的波形

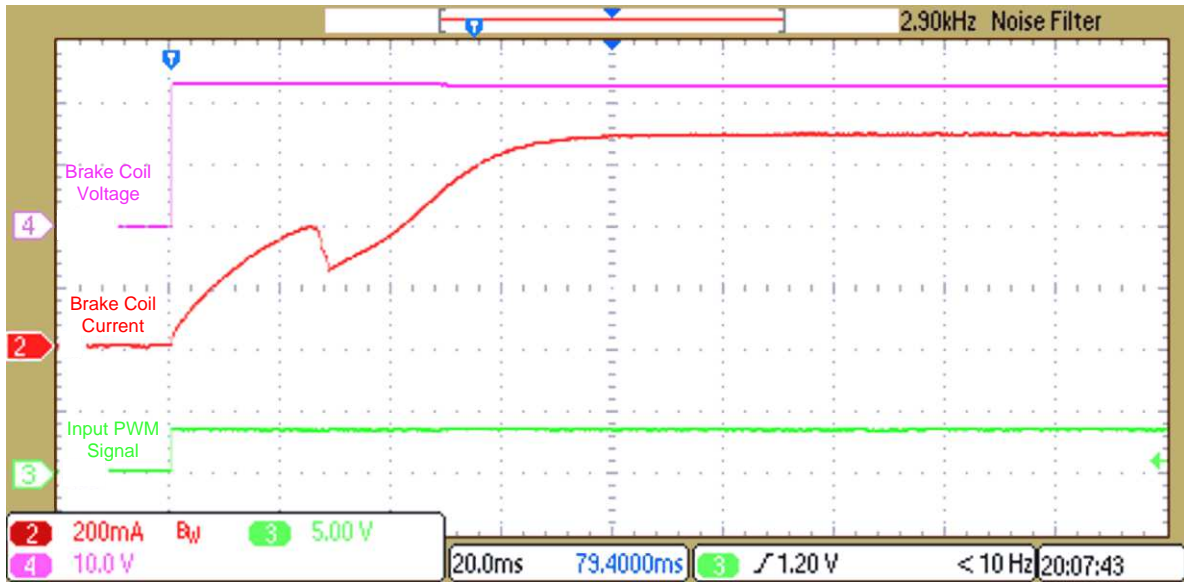


图 15. 制动线圈电流的上升沿

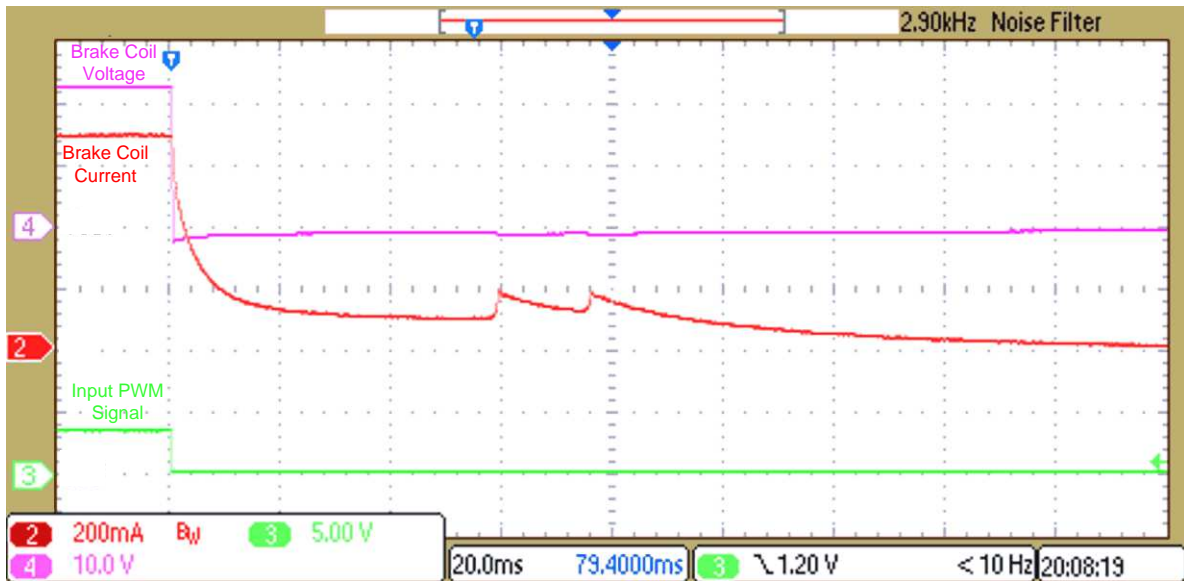


图 16. 制动线圈电流的下降沿

3.3.1.2 在线圈和开关上测得的输出电压

本测试会检查制动线圈在关闭时是否存在过压。我们会测试线圈上的电压并分别测试两个开关上的电压。电压与使能输入 PWM 信号成正比，当使能信号变成低电平时，电压会下降到零。制动线圈关闭时，没有出现任何过压情况。图 17、图 18 和图 19 分别显示了在制动线圈、低侧开关和高侧开关上测得的电压。

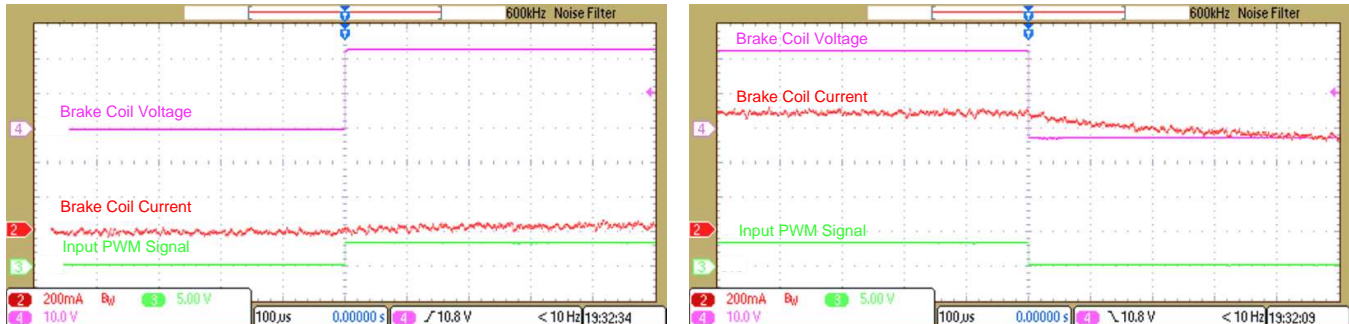


图 17. 制动线圈上的输出电压

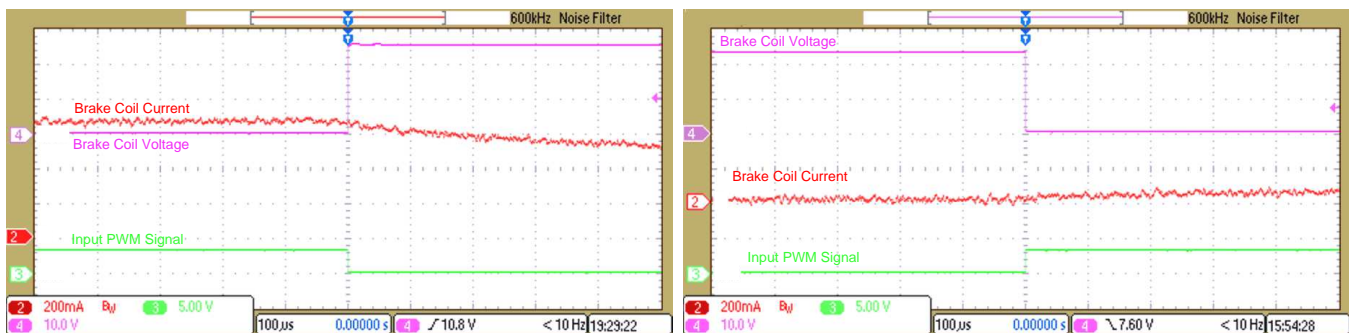


图 18. 低侧开关上的输出电压

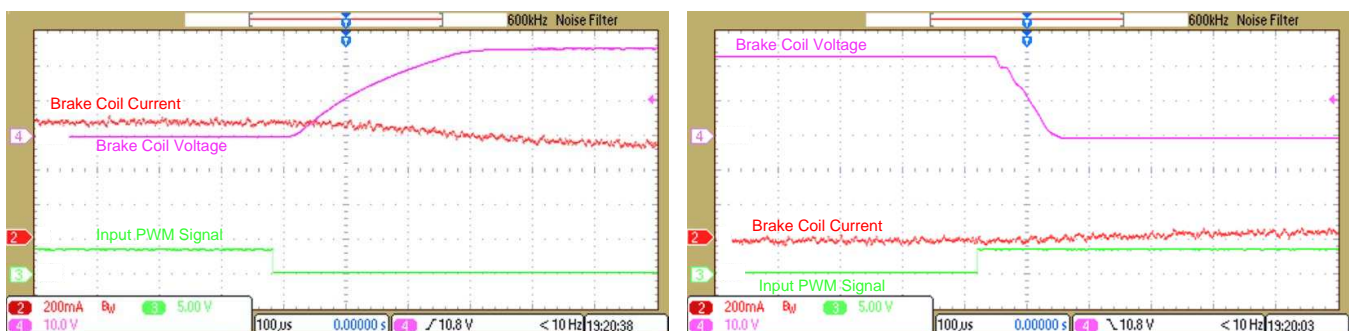


图 19. 高侧开关上的输出电压

3.3.1.3 空载检测

TPS27S100 高侧开关具有涉及空载检测的内置诊断特性。当开关的使能信号输入为高电平时，如果流经输出端的电流低于 $I_{(ol,on)}$ （该电流通常低于 6mA），那么器件将会识别出开路负载故障。状态引脚信号变成低电平即表示存在该故障。当使能输入信号为低电平时，如果发生开路负载，则输出电压接近电源电压 ($V_{IN} - V_{OUT} < V_{(ol,off)}$) 且通常低于 1.8V，状态引脚信号变成低电平即表示检测到了空载的情况。图 20 和图 21 是捕获到的空载检测波形。此功能有助于确定开路电缆和线圈检测，从而提高设计的安全性。

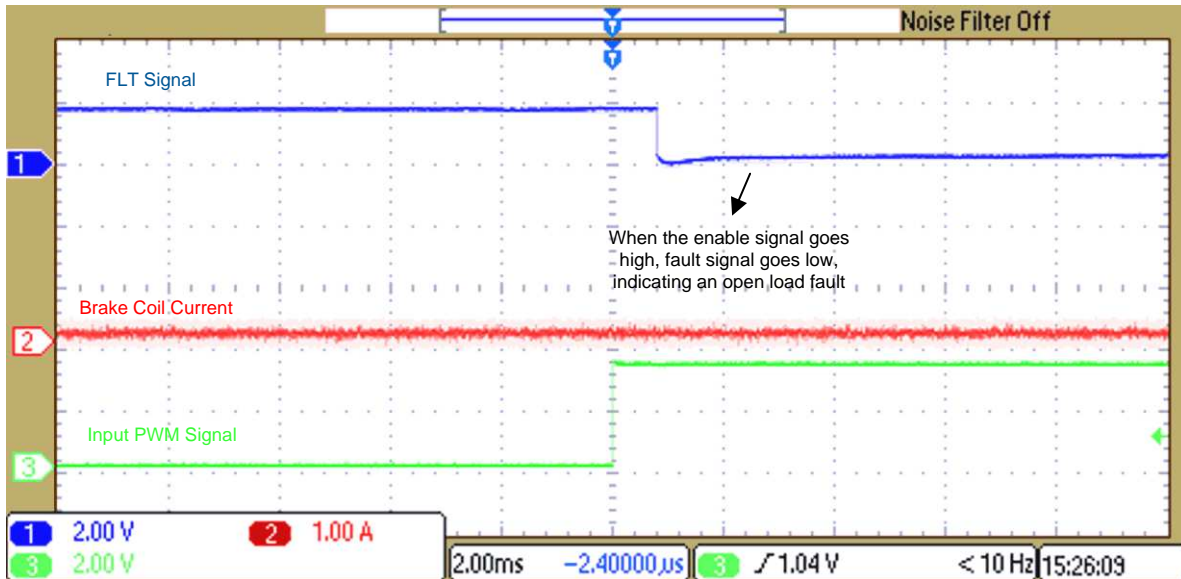


图 20. 空载检测，IN 引脚高电平

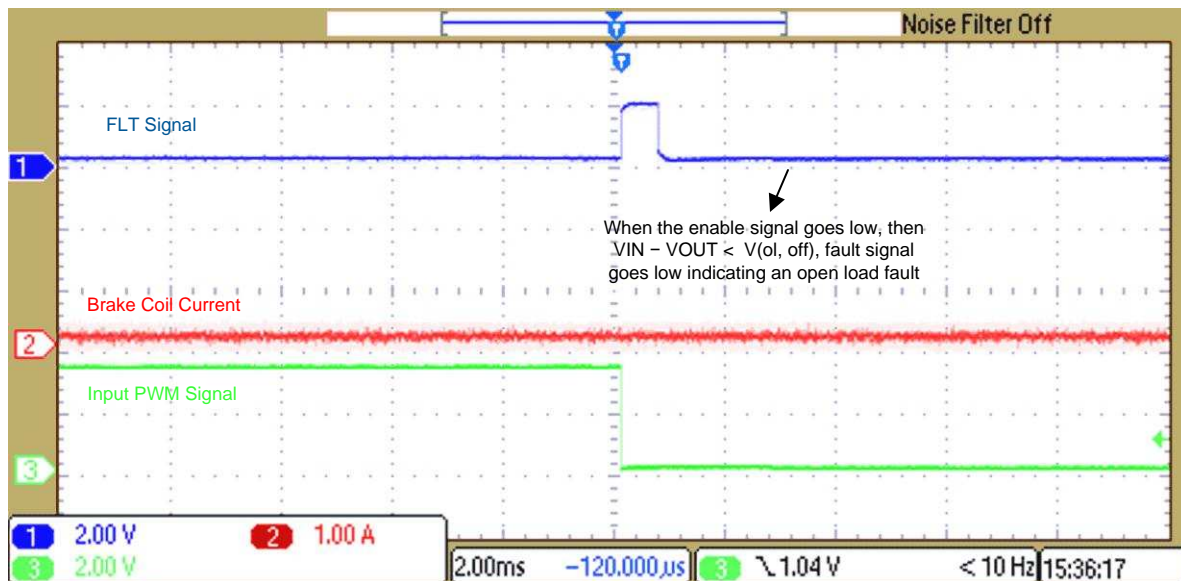


图 21. 空载检测，IN 引脚低电平

3.3.1.4 短路、过流和热关断保护

TPS27S100 的另外一个内置诊断特性是短路和热关断保护。当开关打开时，接地短路或过载状况会造成过流。如果过流触发电流限制阈值 (I_{lim})，则会报告故障情况。在本参考设计中，所设置的电流限制阈值为 2A。器件会由于功率 FET 上的功率压力过大而开始变热。为了在功率压力过大时保护该器件，该器件实施了两种类型的热故障检测：绝对温度保护（热关断）和动态温度保护（热摆动）。

当功率 FET 的温度急速上升（即 $\Delta T = T_{(FET)} - T_{(Logic)} > T_{(sw)}$ ）时，会激活热摆动。然后，输出关闭。当 $\Delta T = T_{(FET)} - T_{(Logic)} < T_{(sw)} - T_{(hys)}$ 时，输出会自动恢复，且系统会将故障信号清除。热摆动功能提高了器件在重复快速热变化情况下的稳定性。

多次触发热摆动的情况下，才会发生热关断。当绝对温度 $T_J > T_{SD}$ 时，会激活热关断。在激活状态下，输出会关断，ST 引脚会变成低电平。当 $T_J < T_{SD} - T_{hys}$ 时，输出会自动恢复；电流限值会降至 $I_{lim,tsd}$ 或可编程电流限值的一半，以防止重复发生热关断。但是，热关断故障信号和二分之一电流限值要到结温下降至低于 $T_{SD,rst}$ 时才会消失。

图 22 显示了发生短路后的热行为。

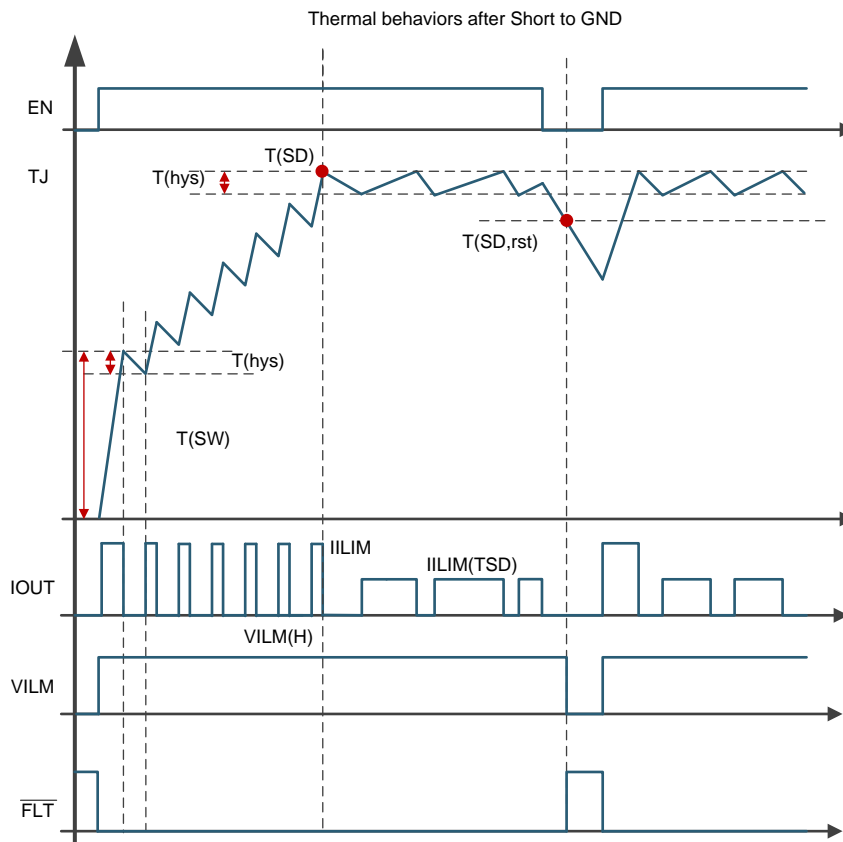


图 22. TPS27S100 的热行为

图 23 和图 24 显示了高侧开关的短路和热关断响应。当输入接地短路时，电流限值会被触发至 2A，故障信号会变成低电平，表示存在短路故障。由于热关断，电流限值会下降至编程值的一半，如图 22 中所示。

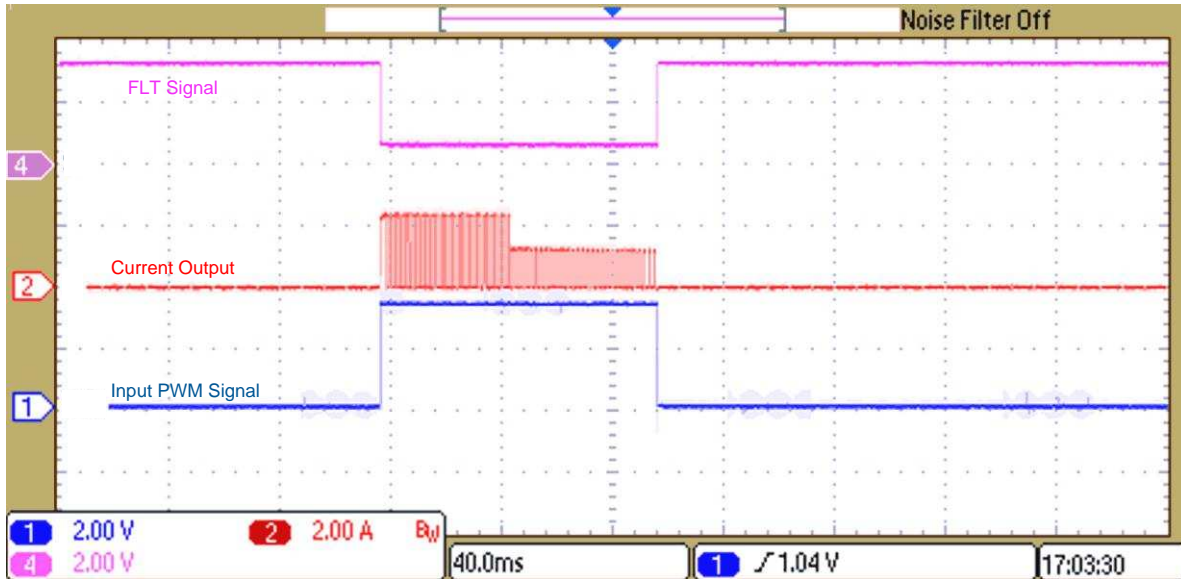


图 23. 短路保护

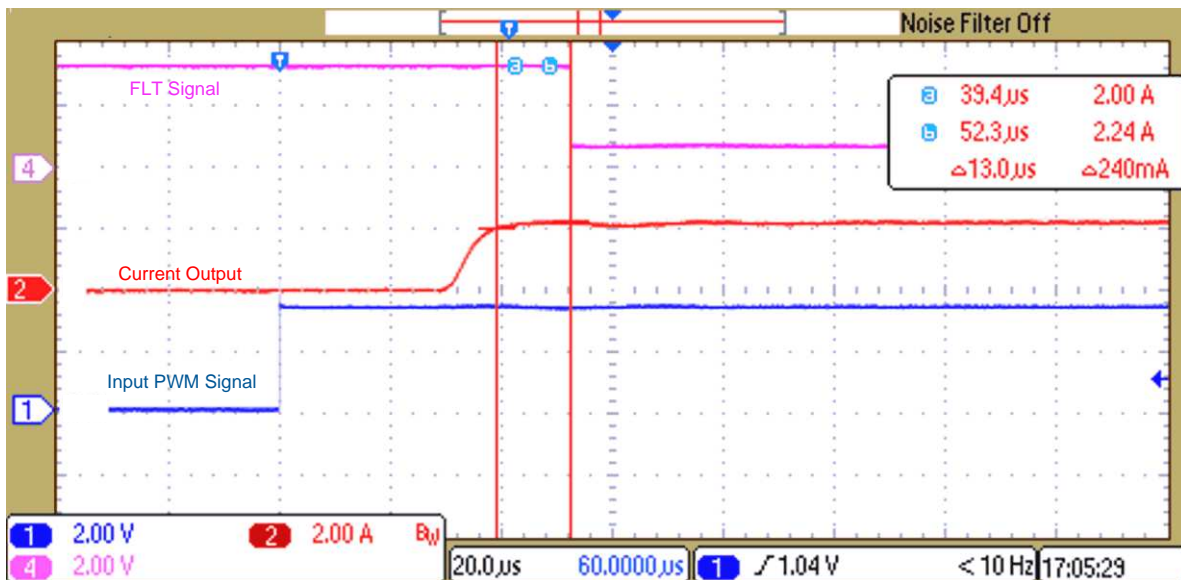


图 24. 短路保护继电器测量

3.3.1.5 从运行模式到保持模式的 PWM 波形

本参考设计具有一个能够在保持制动器输出端降低电压的特性，从而降低功耗。系统会控制提供给低侧开关的 PWM 信号，以降低保持制动器输出端的电压。为了激活制动线圈，我们施加了 100% 的占空比。激活制动器后，电压可下降至保持电平，从而降低功耗。当电压下降到保持电平以下时，制动器会锁住，从而使负载物保持原位。下图显示了在从运行模式转变到保持模式过程中捕获的波形。PWM 频率设置为 10kHz。在 100% 的占空比下，测得的制动线圈电流为 0.71A。

图 25 显示了在将 PWM 信号从 100% 占空比降低至 50% 占空比过程中捕获的波形。测得的制动线圈电流为 0.36A。制动器仍处于保持状态，节省了大约 76% 的功耗。

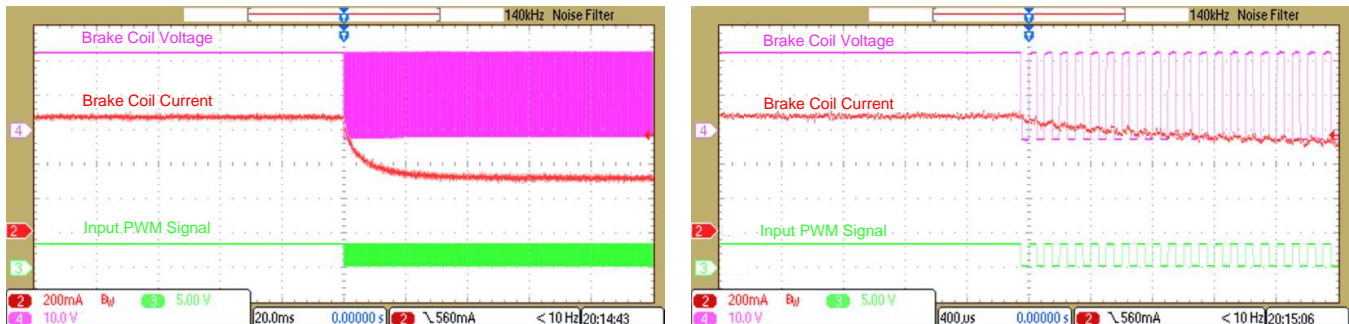


图 25. 在 10kHz 频率下将 PWM 占空比从 100% 下降至 50%

图 26 显示了在将 PWM 占空比从 100% 降低至 25%（制动器未锁住）过程中捕获的波形。测得的制动线圈电流为 0.18A。节省了大约 90% 的功耗。制动器会在占空比达到 20% 时锁住，此时的制动线圈电流为大约 0.15A。安全阈值是在 25% 占空比下运行制动器。

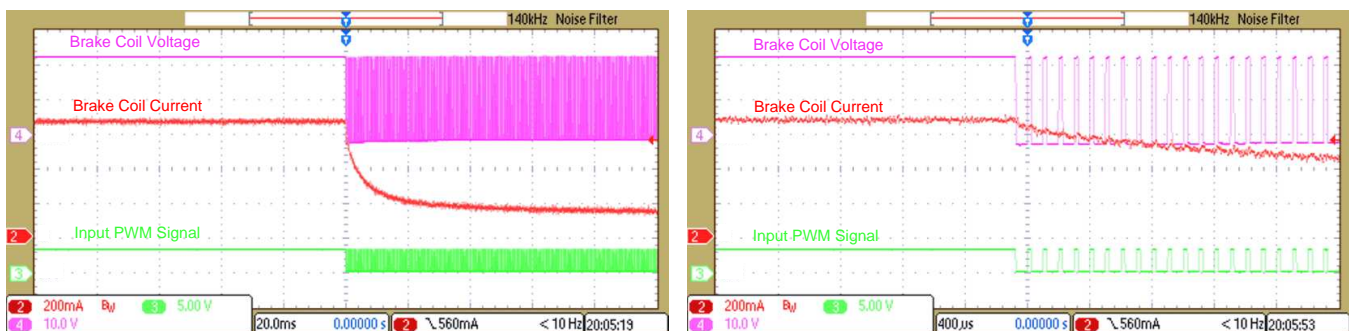


图 26. 在 10kHz 频率下将 PWM 占空比从 100% 下降至 25%

现在，将 PWM 频率设置为 1kHz，并向低侧开关施加相应的 PWM 占空比。在 100% 的占空比下，测得的制动线圈电流为大约 0.71A。图 27 显示了在将占空比从 100% 降低至 75%（制动器未锁住）过程中捕获的波形。电流下降至 0.35A。节省了大约 65% 的功耗。

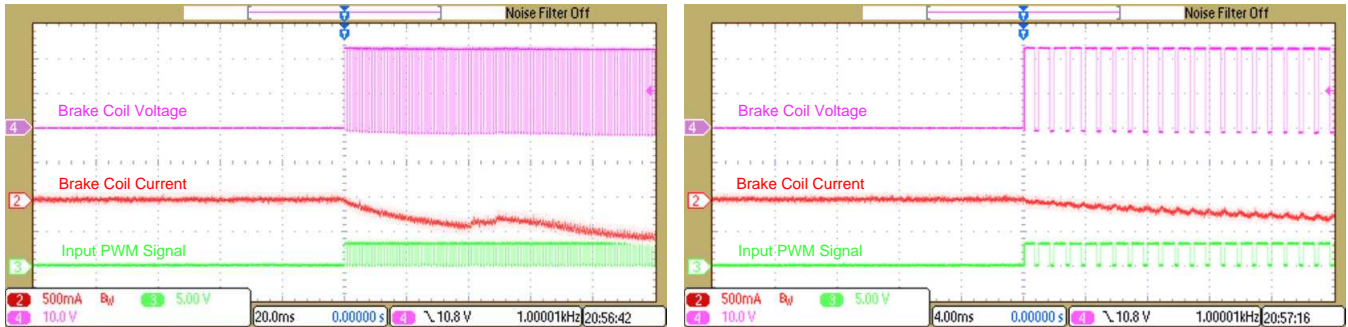


图 27. 在 1kHz 频率下将 PWM 占空比从 100% 下降至 75%

图 28 显示了在将 PWM 占空比从 100% 降低至 50%（制动器未锁住）过程中捕获的波形。电流下降至 0.19A。节省了大约 86% 的功耗。制动器会在占空比达到 20% 时锁住。安全阈值是在 25% 占空比下运行制动器。

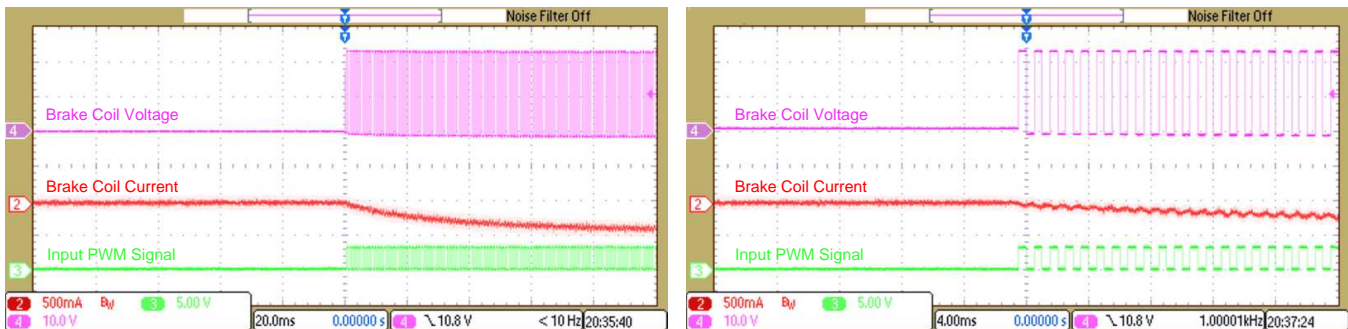


图 28. 在 1kHz 频率下将 PWM 占空比从 100% 下降至 50%

3.3.1.6 制动器电压反馈波形

图 29 显示了制动器电压反馈波形。系统使用电阻分压器将制动器输出电压转换为 3.3V，并通过数字隔离器将其馈送至 MCU 以监控制动线圈电压，然后据此调节低侧开关的 PWM 输入信号，从而降低制动器输出端的电压并减少功耗。

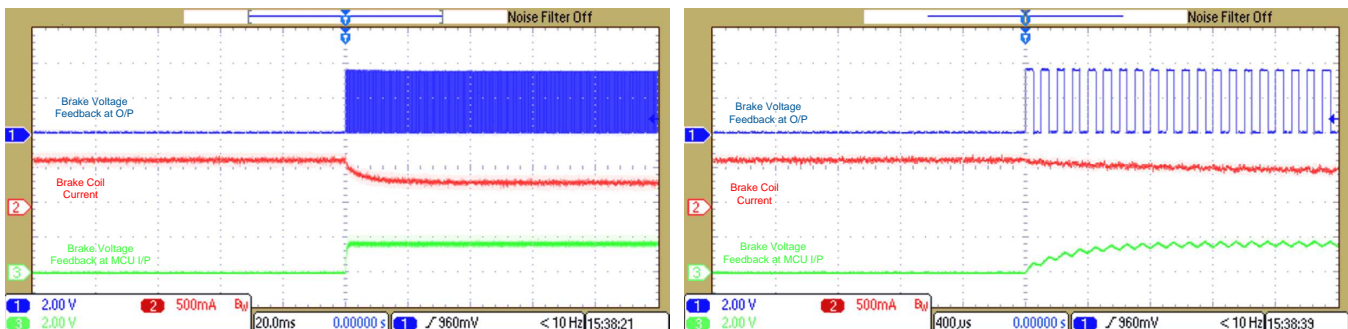


图 29. 制动器电压反馈波形

3.3.1.7 开关上的压降

图 30 显示了在低侧开关上获得的压降，测得的值为 780mV。图 31 显示了在高侧开关上获得的压降，测得的值为 60mV。

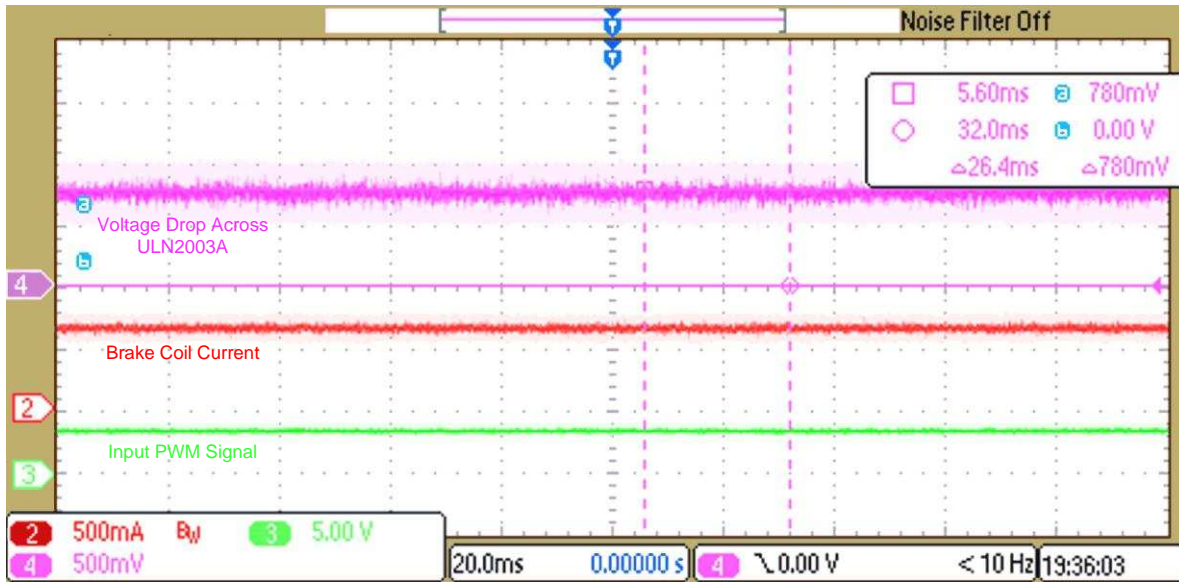


图 30. 低侧开关上的压降

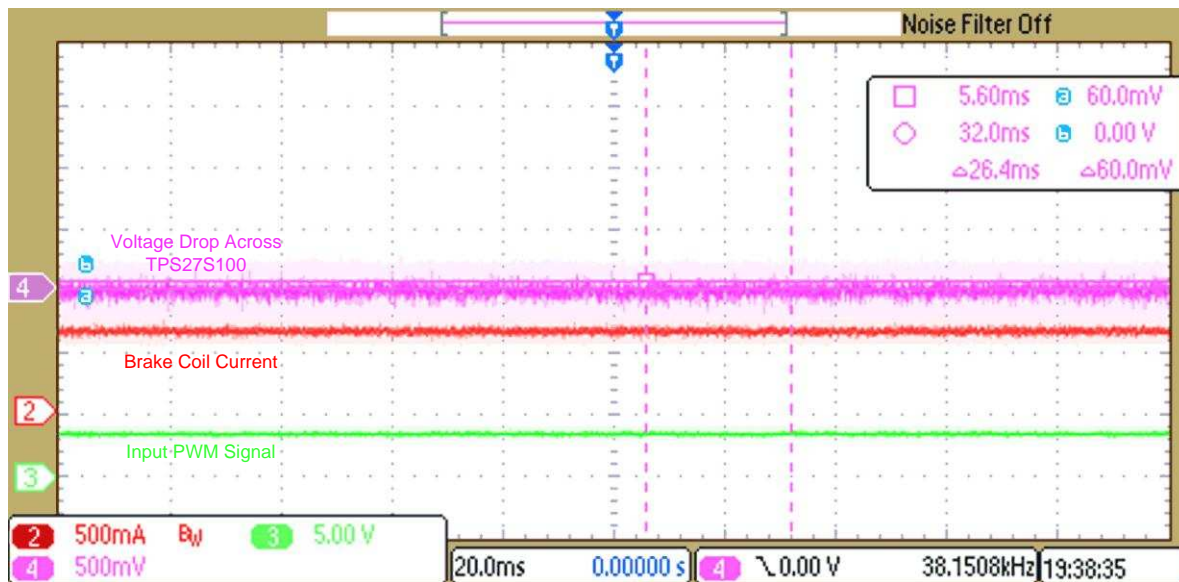


图 31. 高侧开关上的压降

3.3.1.8 热像图

图 32 至图 35 是在不同占空比下捕获的电路板热像图。本参考设计电路板已通电。测试条件为：使高侧开关一直保持开启状态，并且为低侧开关提供 PWM 信号。使电路板在每个占空比下运行 15 分钟。图像分别是在线圈励磁之前以及线圈在 100% 占空比、50% 占空比和 25% 占空比条件下励磁之后测得的。执行这些测量时的环境温度为 25°C。

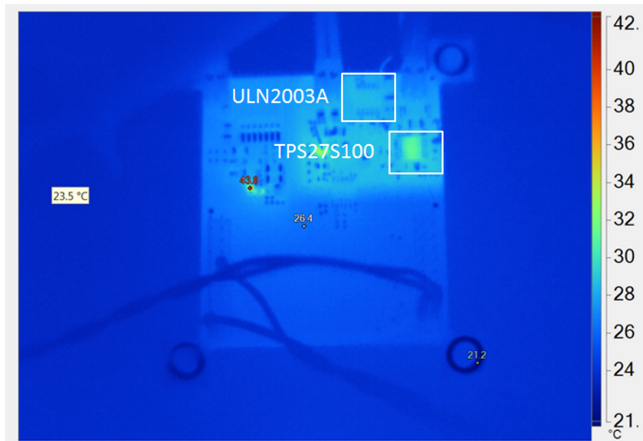


图 32. 空载时的温度

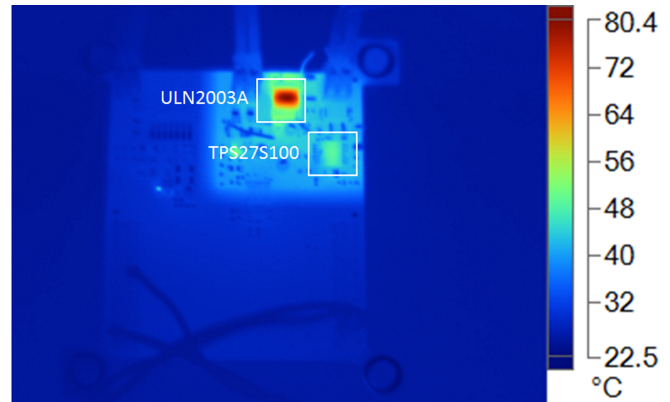


图 33. 100% 占空比时的温度

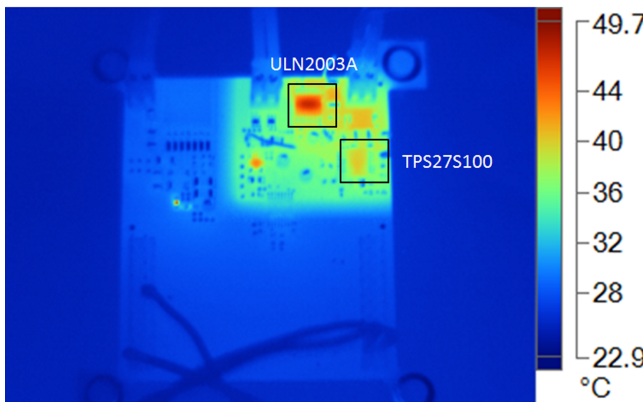


图 34. 50% 占空比时的温度

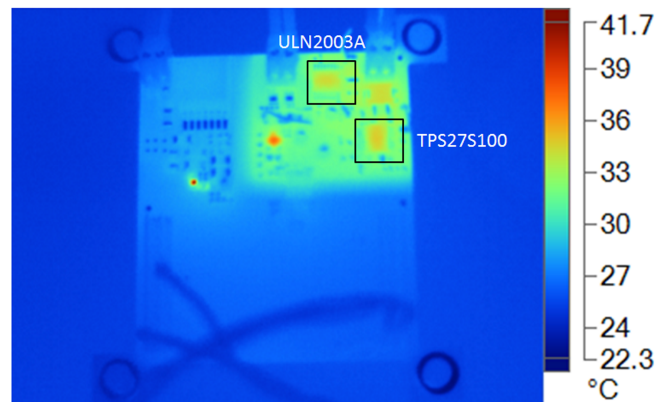


图 35. 25% 占空比时的温度

低侧开关会变得比高侧开关热得多，这是因为 ULN2003A 上的压降为 780mV，而 TPS27S100 上的压降为 60mV。使用 5V LDO 后，温度会下降，这是因为此时的功耗要低于使用 3.3V LDO 时的功耗。您可以使用基于 FET 的开关 TPL7407L 来改善低侧开关内的温度，这是因为 FET 内不存在依赖基极电流的情况，因此它的热稳定性要高于 BJT。

4 设计文件

4.1 电路原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-01600](#) 中的设计文件。

4.2 物料清单

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-01600](#) 中的设计文件。

4.3 PCB 布局建议

图 36 和图 37 分别显示了隔离层和接地划分。初级侧和次级侧铜轨通过隔离层彼此隔离。初级侧和次级侧之间保持着 4mm 的铜轨间爬电距离。两个 20 引脚连接器 J3 和 J4 相距 20mm，可连接至 C2000 LaunchPad。电源平面被划分为 3.3V 和 24V 平面。

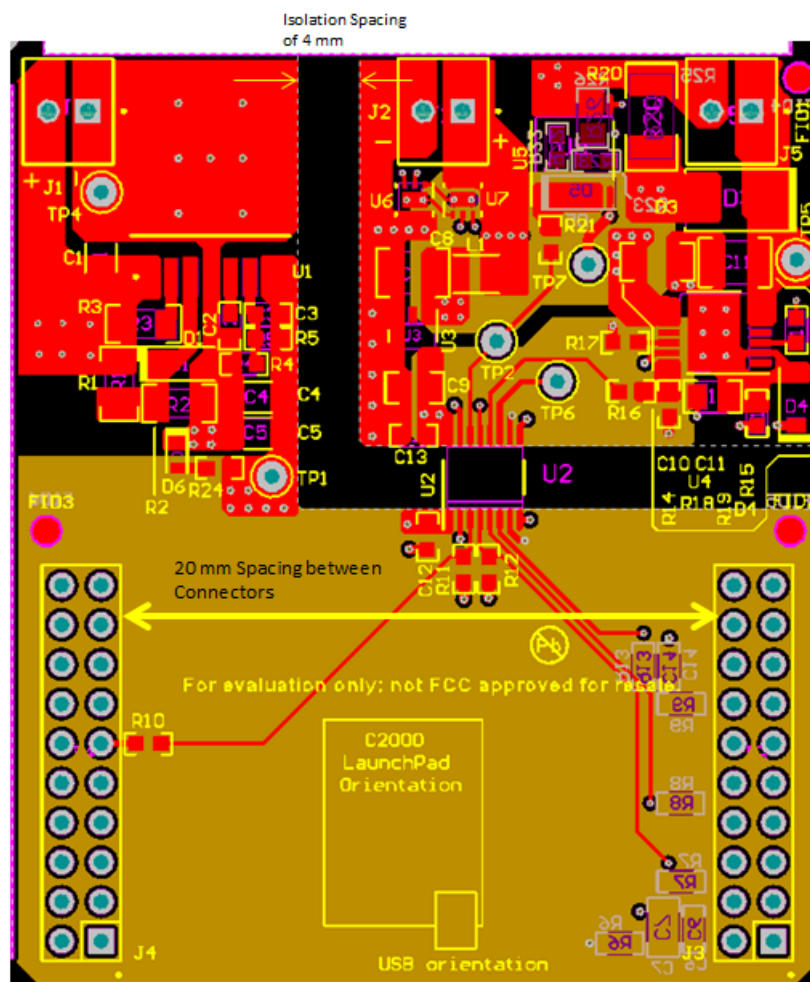


图 36. 布局中的隔离层和电源平面

接地平面分为两个平面：GND1 和 GND2。GND1 用作 ISO7142 的初级侧和 LM14201 器件的接地。GND2 用作 ISO7142 的次级侧、TPS27S100、ULN2003A 和 TPS7B6933 器件的接地。

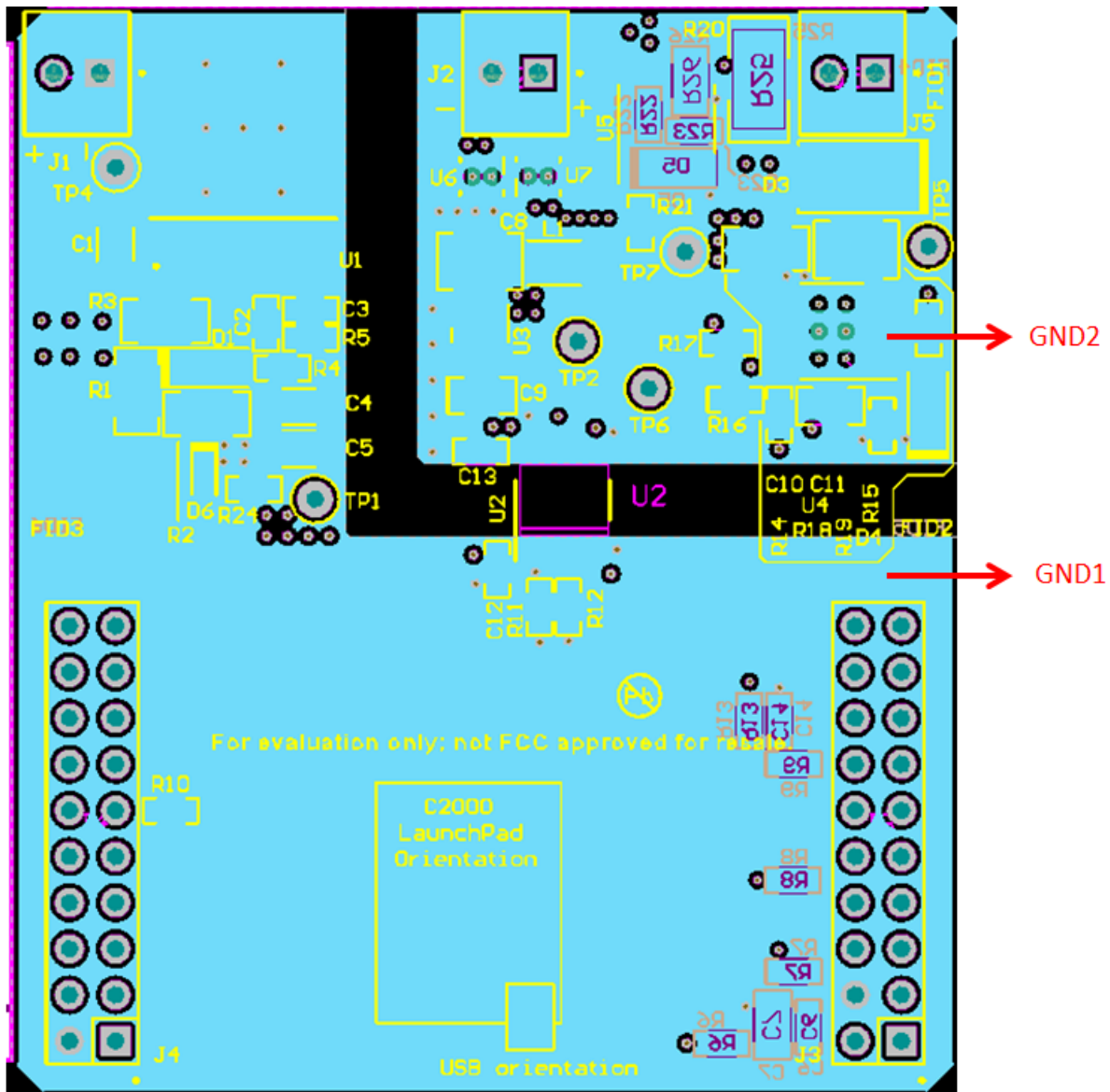


图 37. 布局中的接地平面的划分

4.3.1 布局图

要下载层图，请参阅 [TIDA-01600](#) 中的设计文件。

4.4 Altium 项目

要下载 Altium 项目文件，请参阅 [TIDA-01600](#) 中的设计文件。

4.5 光绘文件

要下载光绘文件，请参阅 [TIDA-01600](#) 中的设计文件。

4.6 装配图

要下载装配图，请参阅 [TIDA-01600](#) 中的设计文件。

5 相关文档

1. IEC - 国际电工委员会, 《[IEC 61800-5-2:2016 RLV: 可调速电力驱动系统 - 5-2 部分: 安全要求 - 功能](#)》(IEC 61800-5-2:2016 RLV: Adjustable speed electrical power drive systems - Part 5-2: Safety requirements - Functional), 2016 年 4 月 18 日

5.1 商标

C2000, LaunchPad, E2E are trademarks of Texas Instruments.
SIMPLE SWITCHER is a registered trademark of Texas Instruments.
All other trademarks are the property of their respective owners.

6 术语

PWM— 脉宽调制

MCU— 微控制器

7 关于作者

MEGA PRIYA GANESAN 是德州仪器 (TI) 的系统工程师, 负责开发面向工业电机驱动领域的子系统设计解决方案。Mega Priya 拥有哥印拜陀 PSG 技术学院电气和电子工程专业工程学士学位。

7.1 鸣谢

作者希望在此感谢 **PAWAN NAYAK** 在 TIDA-01600 参考设计的设计、测试和文档编制阶段作出的出色贡献。

重要声明和免责声明

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。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

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司