

## TI 参考设计

# 24V 直流、100W/30W 双路无传感器无刷直流电机驱动器参考设计



### TI 参考设计

TIDA-0447 是一款应用于洗碗机的 24V 双路无刷电机驱动平台，用于驱动水循环泵和排水泵。循环泵驱动级专为 100W 持续运行设计，而排水泵驱动级专为 30W 持续运行设计。本参考设计针对满载运行、过流、电机停转保护进行了测试。

### 设计资源

<a href="#">TIDA-00447</a>	设计文件夹
<a href="#">MSP430G2744</a>	产品文件夹
<a href="#">CSD88539ND</a>	产品文件夹
<a href="#">DRV8303</a>	产品文件夹
<a href="#">DRV10983</a>	产品文件夹
<a href="#">TPD4S009</a>	产品文件夹
<a href="#">LMT84</a>	产品文件夹
<a href="#">TLV803S</a>	产品文件夹
<a href="#">CSD17304Q3</a>	产品文件夹
<a href="#">ISO7421D</a>	产品文件夹



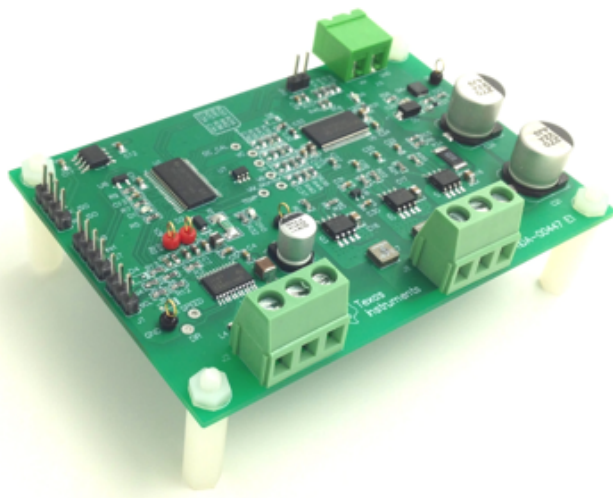
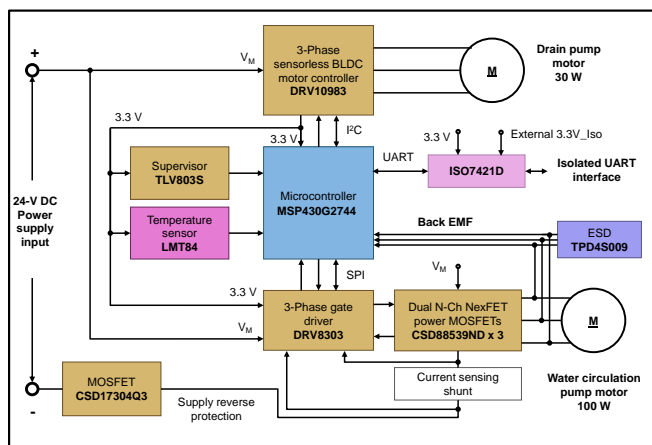
请咨询我们的 E2E 专家  
WEBENCH® 设计中心

### 设计特性

- 提升安全性、实现无噪声运行和小型化
- 循环泵驱动采用离散方法，专为高达 100W 的持续运行而设计，具有一个微控制器 (MCU)、内置保护电路和电流感测放大器的外部金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 驱动器以及外部功率 MOSFET
- MCU 软件针对使用反电动势 (BEMF) 积分法的无刷直流 (BLDC) 电机应用无传感器梯形控制 InstaSPIN-BLDC 技术，实现稳健的低速运行并提升整个速度范围内的控制性能
- 排水泵基于集成功率 MOSFET 的单片三相电机驱动器，专为高达 30W 的持续运行而设计
  - 提供专有的无传感器控制方案，以提供连续正弦驱动
  - 集成 5V/3.3V 降压/线性转换器与保护功能（如过流、电压浪涌保护、欠压锁定 (UVLO) 保护以及电机锁定检测）
- 设计为在  $-20^{\circ}\text{C}$  至  $55^{\circ}\text{C}$  的环境温度范围内运行

### 符合应用

- 洗碗机
- 采用 24V 直流泵或风扇的电器





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 简介

现代洗碗机应用的系统中必须安装两种泵单元：循环泵与排水泵。循环泵用于清洁水循环，排水泵负责排放废水。如今，多数洗碗机泵应用高电压 BLDC 电机，原因是其高效运行并且可闻性噪声较低。

本参考设计是使用低电压 (24V) BLDC 电机替代高电压电机 (300V 以上) 的解决方案。

在功率水平不超过 100W 的条件下使用低电压电机具备以下优势：

- 低电压电机驱动集成电路 (IC) 的集成度通常更高：
  - 低  $R_{\text{DS(on)}}$  功率 MOSFET 和 MOSFET 驱动器
  - 电流感测放大器、可编程电流调节、过流保护、过热保护以及自动重启等
  -
- 降低了布线工作量和布线难度；低电压特性降低了空间需求
- 低电压、低功耗电机相对于高电压、低功耗电机的制造成本较低
- 同样的电机和硬盘印刷电路板 (PCB) 可用于线电压为 110V 或 220V 的产品以及由太阳能供电的系统
- 大容量电容 (相对于 450V 的低电压) 成本降低
- 系统级隔离要求整体降低

本参考设计旨在提供一套双泵控制单元。本参考设计演示了采用小型封装 (94mm × 65mm) 的控制单元在 24V 直流输入电压 (由 TIDA-00367 的输出提供) 下运行并为电机提供高达 130W 的持续功率输出。

本参考设计同时在更高和更低的电流水平下提供了可扩展性。

## 2 系统主要技术规范

表 1. 驱动器单元的系统主要技术规范 — 循环泵

参数	规范
输入电压	24V 直流 (最高 30V)
电流	4.5A 持续电流 (最高 28V)
功率等级	适用于 100W 持续运行的热设计
控制	120° 梯形控制与 MSP430™ 中实现的无传感器 BEMF 积分方法
速度范围	2400RPM (最大值)
保护电路	过流、锁定检测、电压浪涌保护、UVLO 保护以及热关断保护
工作环境温度	-10°C 至 55°C
冷却	使用采用小外形尺寸无引线 (SON) 封装和 PCB 布局的散热焊盘 MOSFET 进行热管理

表 2. 驱动器单元的系统主要技术规范 — 排水泵

参数	规范
输入电压	24V 直流 (最高 28V)
电流	1.5A 持续电流
功率等级	适用于 30W 持续运行的热设计
控制	使用功率驱动的单片、无传感器 180° 全集成正弦控制
速度范围	2400RPM (最大值)
保护电路	过流、锁定检测、电压浪涌保护、UVLO 保护以及热关断保护
工作环境温度	-10°C 至 55°C
冷却	使用采用 PCB 布局的耐热增强型 24 引脚散热薄型小外形尺寸封装 (HTSSOP) 进行热管理

### 3 系统描述

新一代家用电器的目标是提高性能参数，如提升效率和降低噪声。无刷直流 (BLDC) 电机可以满足上述要求。本 TI 参考设计采用两个独立电机驱动级来驱动 BLDC 电机。该功能可用于驱动家用电器（如洗碗机）中基于无刷电机的水泵。

100W 驱动实施方案支持针对 BLDC 电机执行最简单的 120° 梯形控制。该实施方案通过 MCU 运行 InstaSPIN™ BEMF 积分方法软件完成无刷直流电机换向，具备一个功能丰富的三相 MOSFET 桥驱动器和多个外部 MOSFET。这种实施方案可以最低工作量支持向上或向下简单调节功率级。该驱动级可以用于驱动洗碗机中的水循环泵。

30W 驱动通过一个完全集成的单片电机控制器实现，可借助 180° 连续正弦波驱动正弦 BEMF 电机或永磁同步电机 (PMSM)。该驱动级可以用于驱动洗碗机中的排水泵，因为它是一种低功耗电机。

#### 3.1 无刷永磁电机

根据反电动势分布，永磁同步电动机可划分为 BLDC 电机和永磁同步电机 (PMSM)。BLDC 电机和 PMSM 的转子均采用永久磁体，不同之处在于通量分布和 BEMF 分布。BLDC 电机的定子产生梯形 BEMF，而 PMSM 的定子产生正弦 BEMF。为了使每种电机获得最大性能，必须实现适宜的控制策略。

表 3 所示为 BLDC 电机与 PMSM 的比较。

表 3. BLDC 电机与 PMSM 的比较

BLDC	PMSM
同步机器	同步机器
直流供电	正弦电流供电
梯形 BEMF	正弦 BEMF
定子的磁通位置每 60 度进行一次换向	持续定子磁通位置变化
同一时间只有两个相位打开 (ON)	有可能在同一时间打开三个相位
换相时的转矩纹波	换相时无转矩纹波
可闻范围内的低阶电流谐波	由正弦激发造成的更少谐波
由谐波含量造成的更高内核损耗	更低的内核损耗
更少的开关损耗	相同开关频率下的开关损耗更高
控制算法相对简单	控制算法是数学密集型

### 3.1.1 BLDC 电机 — 梯形控制

BLDC 电机（或梯形 BEMF 电机）定子的安培导体保持恒定分布并且在固定时间间隔内（称为换向间隔）固定于空间内。三相绕组的换向间隔为  $60^\circ$ （电气角度）。安培导体在每段换向间隔结束时换至下一位置。此类电机采用双相导通控制，电机的两相在同一时间通电，第三个绕组断开。BEMF 的过零域不应产生转矩。BLDC 电机的原理始终是为相位对加电，从而产生最高转矩。直流电流与梯形 BEMF 的组合使其在理论上可以产生恒定转矩。在实践中，电机的一相无法瞬间产生电流；因此，每  $60^\circ$  换向一次时均会产生转矩纹波。图 1 所示为 BLDC 电机在双相导通状态下的电气波形。

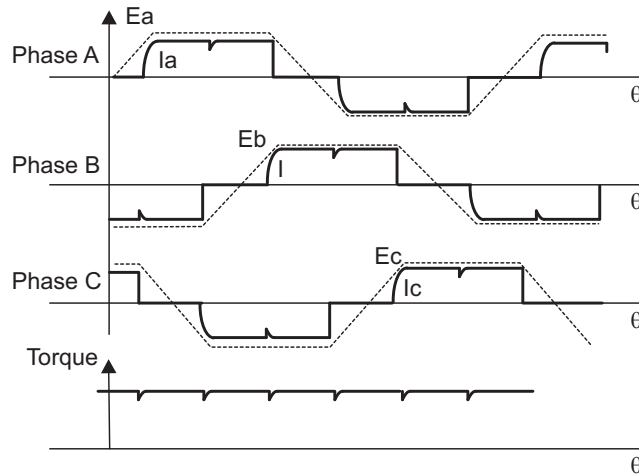


图 1. BLDC 电机双相导通控制中的电气波形和转矩纹波

梯形控制具备以下优势：

- 每次仅需控制一路电流。
- 仅需一个电流传感器（或在仅有速度回路时无需电流传感器）
- 电流传感器的定位可将低成本传感器用作一个分路。

有关梯形控制的更多详细信息，请参见 TI 网站提供的应用报告 [SPRABQ7](#)。

### 3.1.2 BLDC 电机 — $180^\circ$ 无传感器控制

通过持续测量电机的相电流并定期测量电机的电源电压，可以实现换向控制算法。该算法为电机相位提供连续正弦输出电压，通过将电感应转矩纹波保持在较低水平支持电机超静音运行。

DRV10983 使用提供高达 2A 连续驱动电流的集成功率 MOSFET 实现上述控制方案。该器件专为低噪音、外部组件数较少的 12V 至 24V 电机驱动应用而设计。该器件可通过简单的 I<sup>2</sup>C 接口进行配置，从而适应不同客户应用中的不同电机参数和自旋加速配置文件。

4 框图

图 2 所示为驱动单元框图。驱动单元的主要组成部分包括：使用 CSD88539ND 且  $R_{DS(on)}$  较低的三相 MOSFET 桥、DRV8303 栅极驱动器、DRV10983 三相无传感器电机驱动器、MSP430 主控制器、一个 ESD 保护电路、过热保护电路以及输入直流电压、电机 BEMF 电压和直流总线返回电流感测电路。

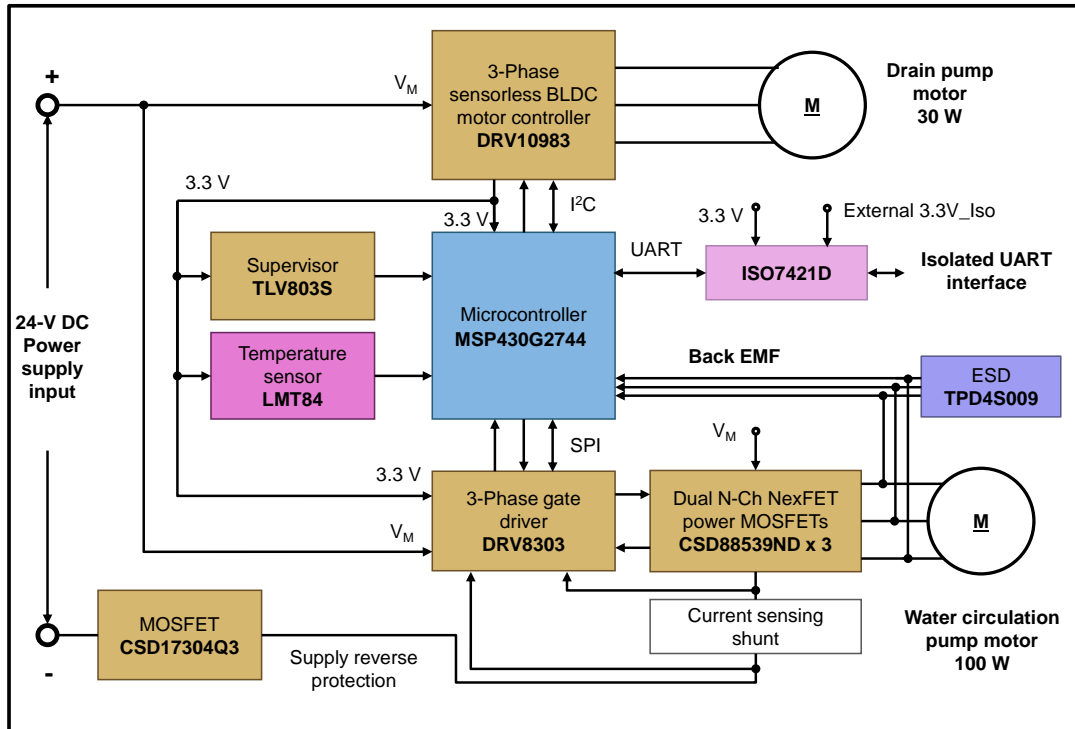


图 2. 驱动单元框图

驱动单元由 24V 直流电源供电。该直流电源来自使用适宜 AC-DC 电源供电的交流电源。

水循环泵电机由三相逆变器（由 CSD88539ND、DRV8303 及 MSP430G2744 组成）驱动。MSP430G2744 MCU 使用 SPI 配置 DRV8303 栅极驱动器。电机绕组电压和逆变器桥臂电流通过合适的信号调节电路感测并馈入 MCU。MCU 根据这些反馈执行 InstaSPIN-BLDC 无传感器 BLDC 梯形算法。DRV8303 栅极驱动器根据 MCU 产生的 PWM 信号驱动三相 MOSFET 桥。DRV8303 内置两个分流放大器，用于感测三相桥的直流返回电流。DRV8303 内置的分流放大器用于感测三相桥的直流返回电流。在馈入 MSP430 MCU 前，电压反馈信号由 TPD4S009 瞬态电压抑制器 (TVS) 二极管阵列提供 ESD 保护。LMT84 温度传感器用于感测 MOSFET 桥的温度。

DRV10983 集成电机驱动器用于驱动排水泵电机。MSP430G2744 使用 I<sup>2</sup>C 接口配置 DRV10983。MCU 所需的 3.3V 电源由 DRV10983 内置的 DC-DC 转换器生成，通过消除 3.3V 额外电源部件削减了物料清单 (BOM) 成本。DRV10983 提供可配置电压浪涌、欠压、过流及电机锁定保护电路。

CSD17304Q3 MOSFET 提供输入电压反向极性保护。

## 5 重点产品

键特性的关键特性可从产品数据表中获取。以下是本参考设计中使用的重点产品。

### 5.1 DRV8303

DRV8303 是一款适用于三相电机驱动应用的栅极驱动器 IC。该器件提供三个半桥驱动器，每个驱动器均可驱动两个 N 型 MOSFET（一个用于高侧，一个用于低侧）。它具备高达 2.3A 的灌电流和高达 1.7A 的峰值拉电流能力，仅需由一个电压范围为 6V 至 60V 的单电源供电。DRV8303 采用自举栅极驱动器和涓流充电电路支持 100% 占空比。栅极驱动器在高侧或低侧 FET 切换过程中使用自动握手机制，防止发生电流击穿。感测 FET 的  $V_{DS}$ ，从而在过流状况下保护外部功率级。DRV8303 具备两个针对电流进行精确测量的分流放大器。电流放大器支持双向电流感测，最高可提供 3V 可调节输出偏移。SPI 提供详细的故障报告和灵活参数设置，如电流分流放大器的增益选项以及栅极驱动器的转换率控制。

### 5.2 DRV10983

DRV10983 是一款集成功率 MOSFET 的三相无传感器电机驱动器，可提供峰值高达 2A 的驱动电流。该器件专为低噪音、外部组件数较少的 12V 至 24V 电机驱动应用而设计。该器件可通过简单的 I<sup>2</sup>C 接口进行配置，从而适应不同客户应用中的不同电机参数和自旋加速配置文件。

180° 无传感器控制方案为电机相位提供连续正弦输出电压，从而通过将电感应转矩纹波保持在较低水平支持电机超静音运行。DRV10983 提供多重保护和故障检测机制，以确保可靠运行。电压浪涌保护可避免电机减速时常见的输入  $V_{CC}$  电容过充现象。

该器件无需使用外部电流感测电阻即可提供过流保护。转子锁定检测可通过几种方法实现。这些方法可以通过寄存器设置进行配置，从而确保可靠运行。该器件额外提供欠压锁定 (UVLO) 和热关断保护。

### 5.3 MSP430G2744

MSP430 系列超低功耗微控制器种类繁多，各成员器件配备不同的外设集以满足各类应用的需求。该架构与五种低功耗模式配合使用，是延长便携式测量应用电池寿命的最优选择。该器件具有一个强大的 16 位精简指令集 (RISC) CPU，使用 16 位寄存器以及常数发生器，以便获得最高编码效率。数控振荡器 (DCO) 支持器件在 1 $\mu$ s 内由低功耗模式唤醒并进入激活模式。

MSP430G2x44 系列是一款超低功耗混合信号微控制器，具有 2 个内置 16 位定时器、1 个通用串行通信接口 (USCI)、1 个集成基准和数据传输控制器 (DTC) 的 10 位模数转换器 (ADC) 以及 32 个输入输出 (I/O) 引脚。

典型应用包括传感器系统。此类系统负责捕获模拟信号并将其转换为数字值，随后处理数据以进行显示或传输至一个主机系统。独立射频 (RF) 传感器前端是另一应用领域。

### 5.4 CSD88539ND

双路 SO-8、60V、23m $\Omega$  NexFET™ 功率 MOSFET 被设计运行于低电流电机控制应用中的半桥应用中的半桥。

## 5.5 TPD4S009

TPD4S009 为高速差分线路提供系统级静电放电 (ESD) 解决方案。此类器件为两对差分线路提供四个 ESD 钳位电路。TPD4S009 提供一个可选 VCC 电源引脚，能够与系统电源平面相连。VCC 引脚处具有一个支持 TPD4S009  $I_{OFF}$  功能的阻断二极管。当 VCC 引脚与零电压相连时，TPD4S009 可以处理 D+ 和 D- 引脚处的实时信号。在启动过程中，VCC 引脚允许 TPD4S009 的所有内部电路节点处于已知电势。然而，将可选 VCC 引脚与电路板电源平面相连并不影响 TPD4S009 的系统级 ESD 性能。TPD4S009 可采用 DBV、DCK、DGS 以及 DRY 封装。TPD4S009 符合 IEC 61000-4-2 (4 级) ESD 规范。TPD4S009 的额定工作环境温度范围为  $-40^{\circ}\text{C}$  至  $85^{\circ}\text{C}$ 。

## 5.6 TLV803S

TLV803 系列监控电路主要为数字信号处理器 (DSP) 以及基于处理器的系统提供电路初始化和时序监控。

在上电过程中，当电源电压 (VDD) 大于  $2.93\text{V}$  时，RESET 置为有效。因此，只要 VDD 低于阈值电压 VIT，监控电路便会监控 VDD 并使 RESET 保持有效。一个内部定时器将延迟输出恢复至待机状态（高电平），以确保正确的系统复位。当 VDD 超出阈值电压 VIT 后，延迟时间 ( $t_d(\text{typ}) = 200\text{ms}$ ) 开始。当电源电压降至阈值电压 VIT 以下，输出再次变为激活状态（低电平）。该系列中的所有器件均具有一个通过内部分压器设定的固定感测阈值电压 (VIT)。

该产品领域专为  $2.5\text{V}$ 、 $3\text{V}$ 、 $3.3$  以及  $5\text{V}$  电源电压而设计。该电路采用 3 引脚小外形尺寸晶体管 (SOT)-23 封装。TLV803 器件的额定工作温度范围为  $-40^{\circ}\text{C}$  至  $125^{\circ}\text{C}$ 。

## 5.7 CSD17304Q3

NexFET 功率 MOSFET 可最大限度降低功率转换应用中的损耗并以  $30\text{V}$  时的  $V_{DS}$  及  $T_A = 25^{\circ}\text{C}$  (A) 时的  $15\text{A}$  持续漏极电流 ID 优化了  $5\text{V}$  栅极驱动器。

## 5.8 LMT84

LMT84 是一款高精度 CMOS 集成电路温度传感器，其模拟输出电压与温度呈线性反比关系。该器件的诸多特性使其适用于多种常规温度感测应用。它可由电压低至  $1.5\text{V}$  的电源供电运行，功耗  $5.4\mu\text{A}$ ，使得这款器件成为电池供电类器件的理想选择。包括通孔插入式 TO-92 和 TO-126 封装在内的多种封装选项也使得 LMT84 可安装于电路板上、电路板外，安装于散热片或同一应用的多个独特位置。AB 类输出结构可为 LMT84 提供强大的输出拉电流和灌电流能力，因此能够直接驱动高达  $1.1\text{nF}$  的容性负载。这意味着，凭借瞬态负载条件，该器件非常适合于驱动模数转换器采样保持输入。它在  $-50^{\circ}\text{C}$  至  $150^{\circ}\text{C}$  的工作温度范围内可实现额定精度。这种高精度 3 引线封装选项和其他特性也使 LMT84 成为热敏电阻的替代产品。

## 5.9 ISO7421D (可选)

ISO7420、ISO7420M 和 ISO7421 提供符合 UL 标准的长达 1 分钟且高达  $2.5\text{kV}_{\text{RMS}}$  的电流隔离。此类数字隔离器具有两条隔离通道。每条隔离通道的逻辑输入和输出缓冲器均由二氧化硅 ( $\text{SiO}_2$ ) 绝缘栅相隔离。与隔离式电源一起使用时，这些器件可防止数据总线或者其他电路上的噪声电流进入本地接地并且干扰或损坏敏感电路。后缀 M 表示宽温度范围 ( $-40^{\circ}\text{C}$  至  $125^{\circ}\text{C}$ )。



## 6 系统设计原理

### 6.1 主电源输入

主电源输入部分如图 3 所示。输入大容量铝制电解电容 C21 和 C28 提供纹波电流，为了延长寿命并提升成本效益，其额定电压降低了 30%。此类电容器承载的额定纹波电流高达 2.8A。C29 和 R26 用作 GND 的旁路电容。D5 为瞬态电压抑制器，其最高击穿电压为 36.8V，最大峰值脉冲电流为 8.3A。

MOSFET Q4 可防止输入电压极性反转。当电源按照正确极性连接时，寄生二极管 Q4 导通，分压器 R27 和 R29 提供适当的  $V_{GS}$  使 MOSFET 导通，确保在传导损耗较低的情况下产生大电流。D7 为 16V 齐纳二极管，在最大额定范围内通过限制 MOSFET 的  $V_{GS}$  保护 MOSFET。当电源以相反极性连接时，Q4 不会导通，电源不会输出电流，系统因此受到保护。

当 AC-DC 电源在同一 PCB 中集成时，可以移除反向极性保护 MOSFET，使设计具备成本效益。

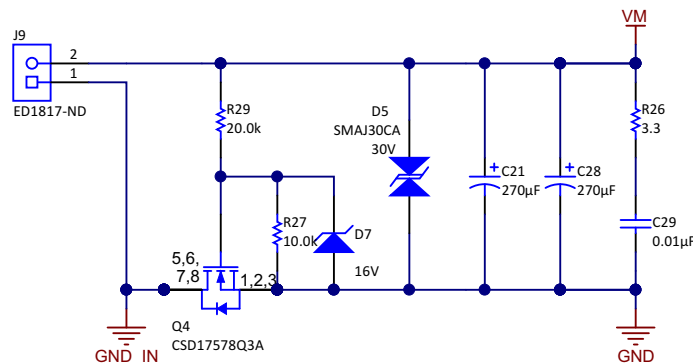


图 3. 适用于循环泵电机驱动的

## 6.2 主电源输入逆变器级

图 4 所示为由三臂 MOSFET 桥构成的电源电路。直流返回电流通过单电流传感器 R24 测量。电流传感器 R24 两端的压降由 DRV8303 的内部分流放大器放大并馈入 MCU MSP430G2744。阻值为 3.9Ω 的栅极电阻用于所有 MOSFET 的栅极输入。C16、C17 和 C18 为连接每条逆变器桥臂的去耦电容。

注：为了提升去耦能力，应在靠近相应 MOSFET 桥臂的位置连接这些去耦电容（请参见 9.3 节）。去耦电容布局或放置不当将产生意外的  $V_{DS}$  开关电压尖峰，DRV8303 会通过  $V_{DS}$  过流检测操作检测到意外故障。

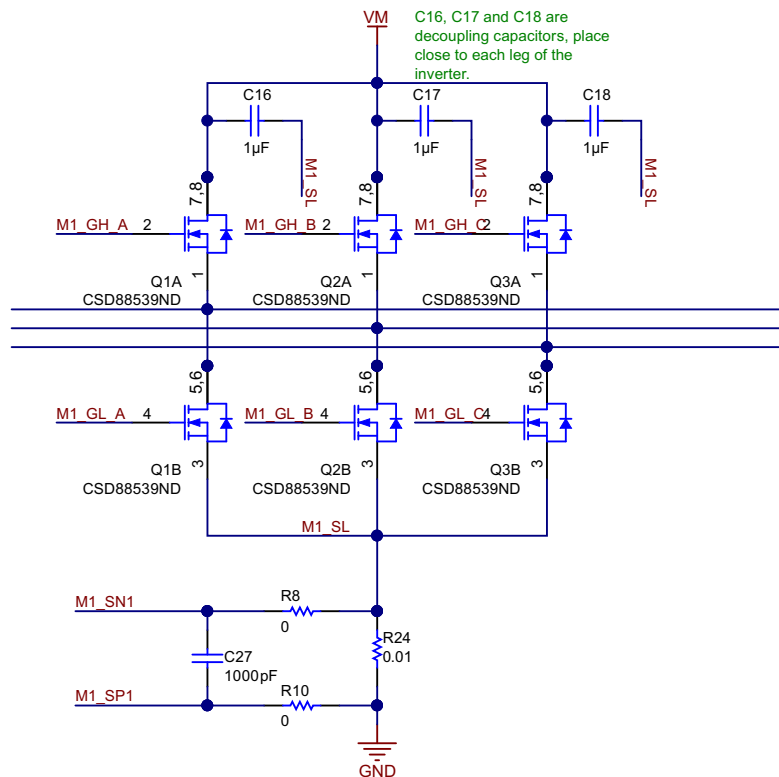


图 4. 功率级的三相逆变器

### 6.2.1 MOSFET 选择

该电路板专为由 24V 直流电源供电运行而设计。考虑到安全因素和开关尖峰，所选 MOSFET 的额定电压为最高输入电压的 1.5 倍。

MOSFET 的额定电流取决于峰值绕组电流。为了实现 100W 功率输出，逆变器电桥必须向电机绕组提供 4.2A<sub>RMS</sub> 标称电流。在 BLDC 梯形换向中，峰值绕组电流约为均方根 (RMS) 电流的 1.5 至 2 倍，具体取决于电机参数和施加的电压。在极端情况下，峰值绕组电流可能为  $2 \times 4.2\text{A} = 8.4\text{A}$ ；在 120% 过载的情况，峰值绕组电流为 10A。发生 120% 过载时，峰值绕组电流为 7A。

为了提升散热性能，应选择漏源导通电阻 ( $R_{DS(ON)}$ ) 极低的 MOSFET。

本参考设计选择 CSD88539ND 双通道 60V N 沟道 NexFET 功率 MOSFET，该器件具有 23mΩ 低  $R_{DS(ON)}$  并特有总栅极电荷较低的需求。它具备 15A 连续漏极电流能力（受封装限制）以及 46A 峰值电流能力。

### 6.2.2 感测电阻选择

感测电阻的功耗和运算放大器的输入偏移误差电压对于感测电阻值的选择至关重要。电机的标称 RMS 绕组电流为 4.2A。因此，感测电阻中将流经约 4.2A 的标称 RMS 电流。高感测电阻会增加电阻的功率损耗。DRV8303 内部分流放大器的直流偏移误差为 4mV。DRV8303 具有执行直流偏移校准的特性。然而，这需要选择感测电阻，以便电阻两端的感测电压远高于偏移误差电压，以降低偏移误差的影响。

选择 10mΩ 电阻作为感测电阻，电流为 4.2A<sub>RMS</sub> 时电阻的功率损耗由公式 1 给定：

$$\text{Power loss in the resistor} = I_{\text{RMS}}^2 \times 0.01 = 0.18 \text{ W} \quad (1)$$

因此，可使用一个标准的 2W、2512 封装电阻。4.2A 电流对应的感测电压为 42mV，远高于运算放大器的偏移误差。

### 6.3 DRV8303 — 三相栅极驱动器

DRV8303 用作主电机三相电机驱动的栅极驱动器 IC。该器件提供三个半桥驱动器，每个驱动器均可驱动两个 N 型 MOSFET（一个用于高侧，一个用于低侧）。图 5 所示为栅极驱动器部分的电路原理图。

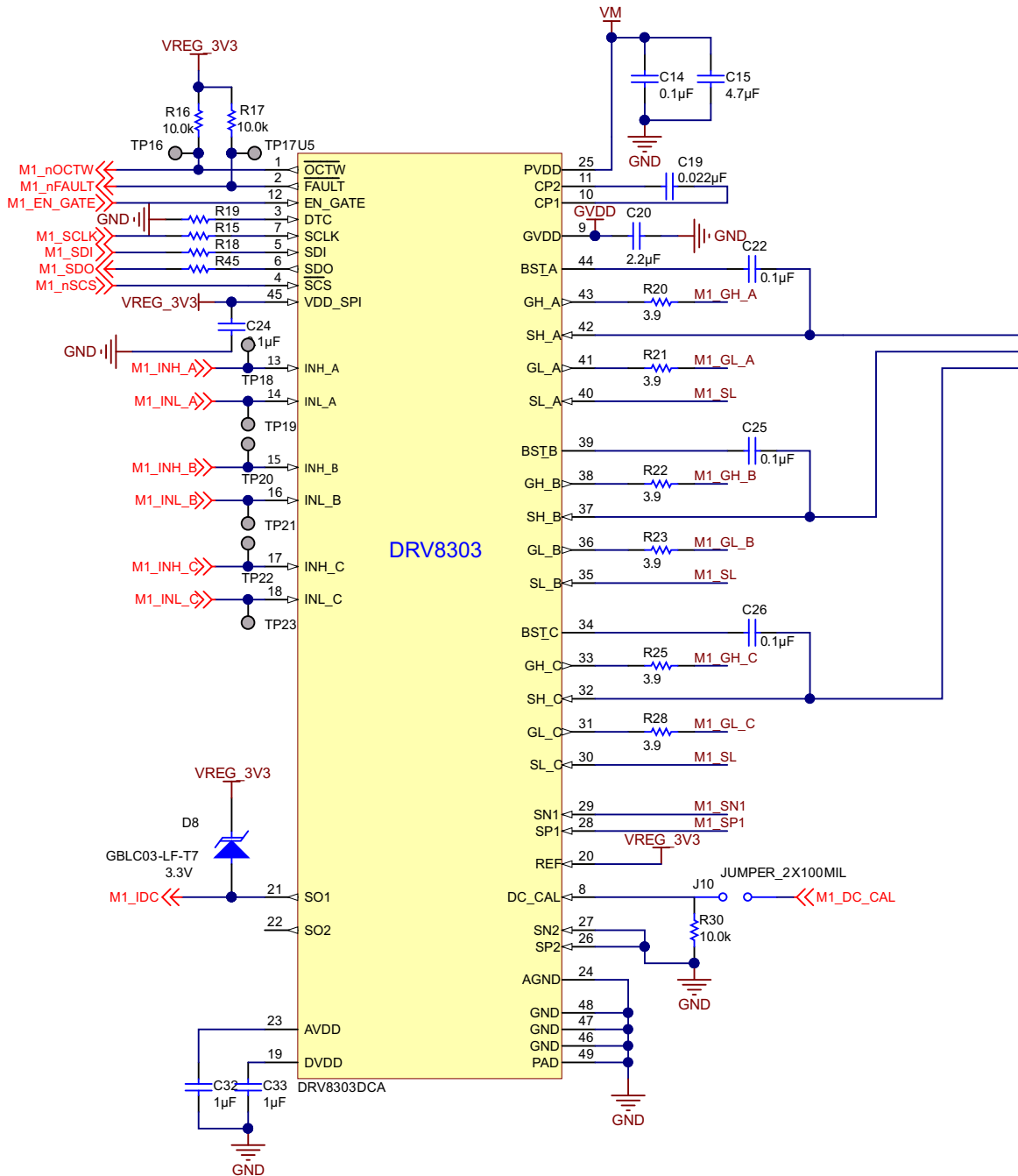


图 5. DRV8303 原理图

栅极驱动器具有以下特性：

- 为了防止电流击穿，高侧和低侧 FET 在开关转换过程中采用内部握手机制
- 可编程转换率或通过 SPI 实现的电流驱动能力
- 支持高达 200kHz 的开关频率， $Q_g(\text{TOT}) = 25\text{nC}$  或 30mA 总栅极驱动器平均电流
- 提供逐周期 (CBC) 电流限制和外部 FET 锁存过流关断功能。电流可通过 FET  $V_{\text{DS}}$  感测，过流等级可通过 SPI 编程设定。 $V_{\text{DS}}$  感测范围可在 0.060V 至 2.4V 范围内进行编程，分辨率为 5 位
- 高侧栅极驱动将在 10ns 内耐受高达 -10V 的负半桥输出
- 当 EN\_GATE 引脚处于低电平或故障状态时，栅极驱动器将使外部 FET 保持高阻抗模式
- 死区可通过 DTC 引脚进行编程。死区控制范围：50ns 至 500ns，将 DTC 引脚短接至地可提供 50ns 最短死区。当时间超出死区设置，外部死区将覆盖内部死区
- 自举电路用于驱动三相逆变器的高侧 FET。使用涓流充电电路补偿自举电容泄漏的电流并支持以 100% 占空比运行。

图 5 中的 C14 和 C15 为 PVDD 去耦电容。PVDD 去耦电容应靠近各自对应引脚放置并经由一条低阻抗路径与器件的 GND 引脚相连（PowerPAD；详情请参见 9.3 节）。PVDD 为栅极驱动器的电源引脚。只要 PVDD 低于 6V (PVDD\_UV)，DRV8303 会通过将其输出驱动为低电平为功率级提供欠压保护。PVDD 欠压状况将通过 FAULT 引脚和 SPI 状态寄存器报告。C22、C25 和 C26 为自举电容。DRV8303 的详细设计和功能将在后续章节中介绍。

### 6.3.1 DRV8303 的内部稳压器

#### AVDD

内部 6V 电源电压。AVDD 电容应始终与 AGND 相连。这个输出并非专用于驱动外部电路。电路原理图中的 C32 用作 AVDD 电容，推荐电容值为 1 $\mu\text{F}$ 。AVDD 的典型电压为 6.5V。最小规范值为 6V，最大为 7V。

#### DVDD

内部 3.3V 电源电压。DVDD 电容应与 AGND 相连。这个输出并非专用于驱动外部电路。电路原理图中的 C33 用作 DVDD 电容，推荐电容值为 1 $\mu\text{F}$ 。AVDD 和 DVDD 电容应靠近各自对应引脚放置并经由一条低阻抗路径与 AGND 引脚相连（详情请参见 9.3 节）。首选在同一层连接。AGND 应经由一条低阻抗走线/低阻抗填充与器件的 GND (PowerPAD) 相连。DVDD 典型电压为 3.3V。最小规范值为 3V，最大值为 3.6V。如果 DVDD 进入欠压状态，通过弱下拉所有栅极驱动器输出可使外部 FET 进入高阻抗状态。从欠压状态恢复的过程中，DRV8303 会将 SPI 寄存器复位。DVDD 欠压状况将通过 FAULT 引脚报告。

#### GVDD

内部栅极驱动器稳压器的电压输出。C20 电容与 GVDD 引脚相连。GVDD 电容应与 GND 相连。通常推荐使用 2.2 $\mu\text{F}$  陶瓷电容作为 GVDD 电容。GVDD 电容应靠近其对应引脚放置并经由一条低阻抗路径与器件的 GND 引脚相连（PowerPAD；详情请参见 9.3 节）。GVDD 引脚受到欠压或过压保护。GVDD 的欠压保护限值为 7.5V，过压保护限值为 16V。当欠压保护触发后，DRV8303 输出驱动至低电平，外部 MOSFET 随之进入高阻抗状态。GVDD 欠压状况将通过 FAULT 引脚和 SPI 状态寄存器报告。GVDD 过压故障是一种锁存故障，仅可通过 EN\_GATE 引脚转换复位。GVDD 过压状况将通过 FAULT 引脚和 SPI 状态寄存器报告。

### 6.3.2 DRV8303 中的分流放大器

DRV8303 具备两个针对电流进行精确测量的分流放大器。电流放大器提供高达 3V 的输出偏移量，以支持双向电流感测。该分流放大器具有以下特性：

- 可编程增益：可通过 SPI 命令设置四种增益（10、20、40 和 80）
- 输出偏移可通过参考引脚进行编程（ $V_{REF}$  的一半）
- 通过 SPI 命令或 DC\_CAL 引脚进行直流校准，以最大限度降低直流偏移和温漂。启用直流校准后，该器件将短接分流放大器的输入并断开负载。由于负载断开，直流校准可以在任何时间进行，即使在开关过程中同样如此。为了获得最佳结果，当出现空载情况时，在开关过程中执行直流校准，从而减少潜在噪声对放大器的影响。

图 6 所示为分流放大器的简化框图。分流放大器的输出可通过公式 2 计算。

$$V_O = \frac{V_{REF}}{2} - G \times (SN_X - SP_X) \quad (2)$$

其中  $V_{REF}$  为基准电压；G 为放大器增益； $SN_X$  和  $SP_X$  为通道 X 的输入。为了实现最佳共模抑制效果， $SP_X$  应与接地电阻相连。

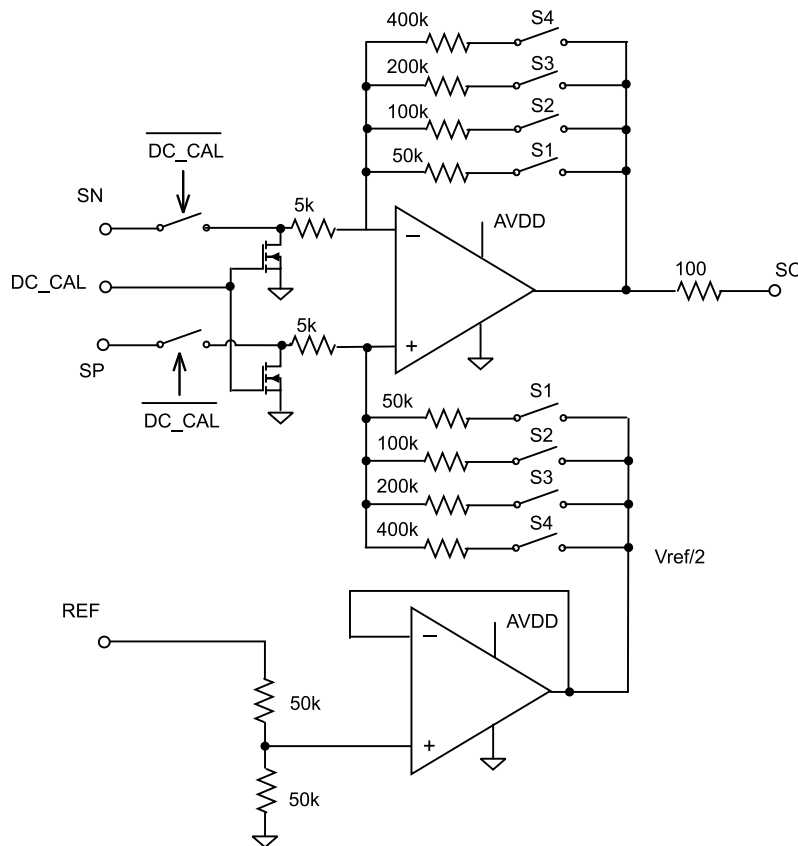


图 6. DRV8303 中的分流放大器 — 简化框图

电路原理图中的 J10 为 MCU 保留，供其进行直流校准。如果不使用 J10，则使其保持开路，DC\_CAL 信号通过 R30 下拉至 GND。

### 6.3.3 DRV8303 中的 保护 特性

#### 过流保护和报告

为了防止功率级由于电流较大而受损，DRV8303 采用  $V_{DS}$  感测电路。根据功率 MOSFET 的  $R_{DS(ON)}$  和以及允许的漏极电流可以计算电压阈值，超过该值便会触发过流保护功能。该电压阈值水平可通过 SPI 命令进行编程。SPI 中共有四个 OC\_MODE 设置。

#### 1. 限流模式

启用限流模式后，DRV8303 在过流事件过程中限制 MOSFET 的电流，而非将其关断。过流事件通过  $\overline{OCTW}$  引脚报告。 $\overline{OCTW}$  报告将在同一 PWM 周期或最长 64 $\mu$ s 的时间内（内部定时器）保持低电平，以便外部控制器在充裕的时间内针对警告信号进行采样。如果其他 FET 在报告过程中发生过流，除非两个 FET 的 PWM 周期均已结束，否则  $\overline{OCTW}$  报告将保持低电平并在 64 $\mu$ s 内重新计数。

限流模式提供两种电流控制设置（在 SPI 中通过一位选择，默认采用 CBC 模式）。

- 设置 1（CBC 模式）：在过流事件过程中，检测到过流的 FET 将在下一 PWM 周期前保持关断状态。
- 设置 2：（关断时间控制模式）：
  - 在过流事件过程中，检测到过流的 FET 将关断 64 $\mu$ s，如果 PWM 信号仍保持高电平，该 FET 将会恢复正常（即该 FET 再次导通）。由于全部三相或 6 个 FET 共用同一定时器，因此如果超过一个 FET 发生过流，则这些 FET 仅在所有 FET 均经过 64 $\mu$ s 过流事件后才会恢复正常。
  - 如果 PWM 信号在定时器运行过程中针对此 FET 发生翻转，翻转后的 FET 将使器件恢复正常运行。因此，这种情况下的实际关断时间应短于 64 $\mu$ s。
  - 如果两个 FET 发生过流且其中一个 FET 的 PWM 信号在定时器运行过程中翻转，则该 FET 恢复正常，而另一 FET 在定时器运行结束前保持关断（除非其 PWM 同样翻转）

#### 2. 过流锁存关断模式

当发生过流时，如果处于某一相位的任意 FET 发生过流，该器件将关断该相中的高侧和低侧 FET。

#### 3. 仅报告模式

该模式不会执行任何保护操作。过流检测结果将通过  $\overline{OCTW}$  引脚和 SPI 状态寄存器报告。外部 MCU 应根据其控制算法执行相应操作。为  $\overline{OCTW}$  引脚设定 64 $\mu$ s 脉冲展宽时间，以便控制器有充裕的时间检测过流信号。

#### 4. 过流禁用模式

该器件将忽略所有过流检测结果并且不会进行报告。

#### 欠压保护

为了在欠压状态下保护功率级，当 PVDD 低于 6V (PVDD\_UV) 或 GVDD 低于 7.5V (GVDD\_UV) 时，DRV8303 通过将其输出驱动为低电平向电源级提供欠压保护。欠压保护触发后，DRV8303 的输出驱动至低电平，外部 MOSFET 随即进入高阻抗状态。

#### 过压保护 (GVDD\_OV)

如果 GVDD 电压超过 16V，DRV8303 将关断栅极驱动器和电荷泵，避免出现潜在的 GVDD 或电荷泵问题（例如外部 GVDD 电容或电荷泵短路）。该故障是一种锁存故障，仅可通过 EN\_GATE 引脚转换复位。

## 过热保护

DRV8303 采用一种 2 级过热检测电路:

- 1 级: 过热警告。默认设置为通过  $\overline{\text{OCTW}}$  (过流/过热警告) 引脚发出警告。 $\overline{\text{OCTW}}$  可通过 SPI 命令设置为发出过热或者过流警告。
- 2 级: 栅极驱动器和电荷泵 (OTSD\_GATE) 过热锁存关断该故障将报告至  $\overline{\text{FAULT}}$  引脚。这是一种锁存关断, 因此即使过热状态不再出现, 栅极驱动器也不会自动恢复。当温度低于预设值  $t_{\text{OTSD\_CLR}}$  时, 需要通过引脚或者 SPI (RESET\_GATE) 复位 EN\_GATE, 以使栅极驱动器恢复正常运行。在 OTSD 运行过程中, 只要 PVDD 处于定义的工作范围内, SPI 操作依然有效, 寄存器设置将保留在器件中。

复位温度警告 (OTW\_CLR) 的结温为 115°C。过热警告和过热关断复位的结温 (OTW\_SET/OTSD\_CLR) 为 130°C。

## 故障和保护处理

$\overline{\text{FAULT}}$  引脚指示出现错误事件 (发生关断), 例如过流、过热、过压或欠压。请注意,  $\overline{\text{FAULT}}$  为开漏信号。在启动过程中, 当栅极驱动器准备好接收 PWM 信号 (内部 EN\_GATE 变为高电平) 时,  $\overline{\text{FAULT}}$  将变为高电平。 $\overline{\text{OCTW}}$  引脚指示与关断不存在必要关联性的过流事件和过热事件。 $\overline{\text{OCTW}}$  为开漏信号。

## EN\_GATE

EN\_GATE 低电平信号用于将栅极驱动器、电荷泵、分流放大器及内部稳压器模块置于低功耗模式, 从而实现节能。该状态下不支持 SPI 通信。只要 PVDD 仍然存在, 该器件会将 MOSFET 输出级置于高阻抗模式。当 EN\_GATE 引脚变为高电平时会经过一个上电序列, 然后启用栅极驱动器、电流放大器、电荷泵、内部稳压器等器件并复位与栅极驱动模块相关的所有锁存故障。EN\_GATE 引脚也将复位 SPI 表中的状态寄存器。如果 EN\_GATE 在错误事件后发生翻转, 除非故障仍然存在, 否则可以复位所有锁存故障。EN\_GATE 由高电平变为低电平时会立即关断栅极驱动器模块, 以便栅极输出可将外部 FET 置为高阻抗模式。在其余模块完全关断前, 该器件将等待 10 $\mu\text{s}$ 。在极短时间内 (低于 10 $\mu\text{s}$ ) 翻转 EN\_GATE 引脚可实现快速故障复位模式。这将避免器件关断其他功能模块 (如电荷泵和内部稳压器) 并提供更为快捷和简便的故障恢复。凭借这种 EN\_GATE 快速复位模式, SPI 仍能正常工作。另一种复位所有故障的方法是使用 SPI 命令 (RESET\_GATE), 这将复位栅极驱动模块和所有 SPI 状态寄存器, 无需关断其他功能模块。GVDD\_OV 故障复位是一种例外情况。EN\_GATE 快速故障复位和 SPI 命令复位并不适用于 GVDD\_OV 故障。完整的 EN\_GATE 需要保持低电平 10 $\mu\text{s}$  以上来复位 GVDD\_OV 故障。强烈建议在发生 GVDD\_OV 故障时检查系统和电路板。

## DTC

死区可通过 DTC 引脚进行编程。DTC 与地之间应连接一个电阻来控制死区。死区控制范围为 50ns 至 500ns, 将 DTC 引脚接地短路, 以提供最短死区 (50ns)。电阻范围为 0k $\Omega$  至 150k $\Omega$ 。死区在该电阻范围内以线性方式设置。器件将始终启用电流击穿保护, 与死区和输入模式设置无关。

本参考设计中的 DTC 引脚与一个 1 $\Omega$  电阻相连。



### 6.3.4 SPI 通信

#### VDD\_SPI

为 SDO 引脚供电的电源。它必须与 MCU 为其 SPI 运行供电的电源相连（3.3V 或 5V）。在上电或断电的瞬态过程中，VDD\_SPI 引脚的电压可在短时间内为零。在此期间，系统内的其他器件均不应将 SDO 信号传输至 SDO 引脚，原因是这将导致 DRV8303 内将 SDO 传导至 VDD\_SPI 引脚的寄生二极管短路。系统电源序列设计应考虑这一点并加以防范。

#### DC\_CAL

启用 DC\_CAL 后，该器件将分流放大器的输入短路并将其与负载断开，以便外部 MCU 执行直流偏移校准。直流偏移校准也可通过 SPI 命令实现。如果仅使用 SPI 执行直流校准，DC\_CAL 引脚可与 GND 相连。

#### SPI 引脚

SDO 引脚必须为三态引脚，以便数据总线可与多个 SPI 从器件相连。SCS 引脚为低电平有效。当 SCS 处于高电平时，SDO 处于高阻抗模式。

#### SPI

SPI 用于设置器件配置、运行参数以及读取诊断信息。DRV8303 SPI 接口在从模式下运行。SPI 输入数据 (SDI) 字由 16 位字组成，其中包括 11 位数据及 5 位 MSB 命令。SPI 输出数据 (SDO) 字由 16 位字组成，其中包括 11 位寄存器数据、4 位 MSB 地址数据以及 1 个帧故障位（置 1 时有效）。当帧无效时，帧故障位置 1，其余 SDO 位将移出为零。

有效帧必须满足以下条件：

1. 当 /SCS 变为低电平时，时钟必须为低电平。
  2. 用户应该提供 16 个完整时钟周期。
  3. 当 /SCS 变为高电平时，时钟必须为低电平。
- 因此，SCS 引脚不会失控，也不会下拉至 GND。

当 SCS 置为高电平时，SCLK 和 SDI 引脚处的任何信号均被忽略，强制 SDO 进入高阻抗状态。当 SCS 由高电平转换为低电平时，SDO 启用并根据前一时钟周期内的 5 位 SPI 命令将 SPI 响应字载入移位寄存器。当 SCS 转换为低电平时，SCLK 引脚必须为低电平。当 SCS 处于低电平时，MSB 在每个时钟的上升沿首先移出，随后响应位以串行方式移出至 SDO 引脚。

当 SCS 处于低电平时，新控制位在每个时钟的上升沿于 SDI 引脚进行采样。针对 SPI 命令位进行解码，确定寄存器地址和访问类型（读访问或写访问）。MSB 将首先移入。如果发送至 SDI 的字长不等于 16 位，则视为帧错误。如果这是一条写命令，数据将被忽略。SDO (MSB) 中的故障位将在下一 16 位字周期报告为 1。在第 16 个时钟周期结束后或 SCS 由低电平转换为高电平时，如果采用写访问类型，则 SPI 接收的移位寄存器数据将传输至寄存器地址与解码后的 SPI 命令地址值相匹配的锁存器。只要 SCS 保持低电平有效，任意时长均可以在位间传送。这将允许使用两个 8 位字。

对于在 SPI 中的读命令（第 N 个周期），SPO 将在下一周期 (N+1) 按照读命令中的地址发送寄存器中的数据。对于 SPI 中的写命令，SPO 将在下一 16 位字周期 (N+1) 传输状态寄存器 0x00h 存储的数据。在多数时间内，当出现写命令时，该功能将最大限度提升 SPI 通信效率。但如果不额外发送写命令，仍返回故障状态值。

## SPI 格式

SPI 输入数据控制字长达 16 位，其中包括：

- 1 个读或写位 W [15]
- 4 个地址位 A [14:11]
- 11 个数据位 D [10:0]

SPI 输出数据响应字长达 16 位，其内容取决于前一周期内给定的 SPI 命令（SPI 控制字）。当一个 SPI 控制字移入后，SPI 响应字（在同一转换时间内移出）是针对前一 SPI 命令的响应（移入 SPI 控制字“N”并移出 SPI 响应字“N-1”）。因此，每个 SPI 控制/响应对需要在两个完整的 16 位移位周期内完成。DRV8303 的数据表给出了所有 SPI 寄存器的定义。

## 6.4 电机绕组电压感测

图 7 所示的分压器电路用于测量绕组电压。MSP430 的梯形 BEMF 控制算法固件需要电压反馈。该固件中的相电压直接从电机相位测量，无需通过软件估算。该固件适用于 BEMF 集成技术。该算法通过感测非通电相的绕组电压推导电机 BEMF。在通电相的 PWM 导通时间内测得的绕组电压将覆盖直流总线电压的一半 (VM/2)。因此，从感测到的绕组电压中减去 VM/2 可推算 BEMF。该算法假定绕组电压和直流总线电压 (VM) 感测网络的调节比例相同。因此，BEMF 电压感测电路和 VM 感测电路采用完全相同的调节配置至关重要。

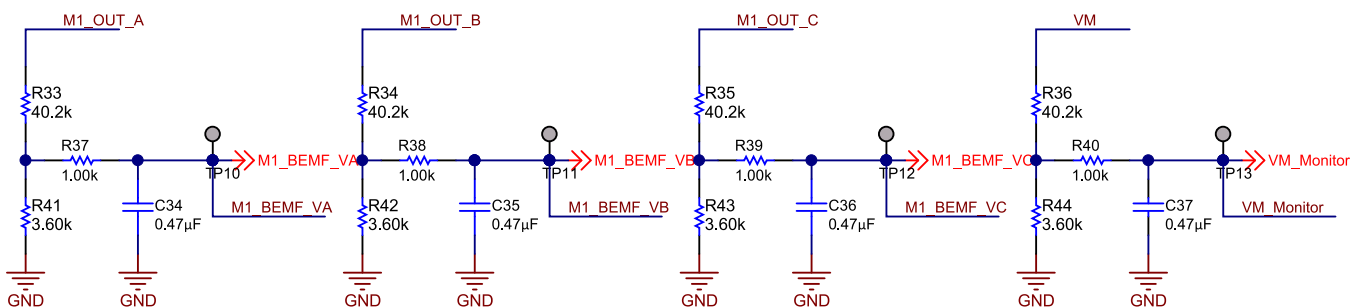


图 7. 电机绕组电压感测电路

M1\_OUT\_A、M1\_OUT\_B 和 M1\_OUT\_C 为相电压。上述电压通过 M1\_BEMF\_A、M1\_BEMF\_A 及 M1\_BEMF\_A 适当调节后馈入控制器。为了精确测量，MSP430 的 ADC 配置为使用 2.5V 内部基准。因此，ADC 测得的最高电压 (V<sub>ADC\_a(max)</sub>) 为 2.5V。

因此，反馈网络和 MCU 测得的最高相电压或直流电压 (V<sub>a(max)</sub>) 可通过公式 3 计算。

$$V_{a(max)} = V_{ADC\_a(max)} \times \frac{(3.6 \text{ k}\Omega + 40.2 \text{ k}\Omega)}{3.6 \text{ k}\Omega} = 2.5 \times \frac{(3.6 \text{ k}\Omega + 40.2 \text{ k}\Omega)}{3.6 \text{ k}\Omega} = 30.4 \text{ V} \quad (3)$$

因此，该系统的 28V 最高额定输入电压处于适当测量范围内。

### 6.5 循环泵电机驱动的输出电感

提供电感 L5、L6 和 L7 提升 EMI 性能。上述电感也有助于降低低电感电机的短路电流，同时提供充裕的时间激活过电流保护。用户可根据最终电机应用考虑去除该电感。有关电感选择的更多详细信息，请参见 DRV83x2 数据表（文献编号：SLES256）。

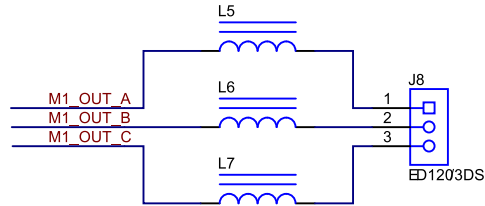


图 8. 实现 CBC 限流保护的 DRV8303 输出电感

### 6.6 MOSFET 温度传感器

图 9 所示为用于测量 MOSFET 温度的温度传感器电路。LMT84 是一款模拟输出温度传感器。温度感测元件是一个由电流源正向偏置的简易基极-发射极结。温度感测元件由放大器缓冲并提供给 OUT 引脚。该放大器采用简易推挽输出级，从而提供一个低阻抗输出源。输出传感器平均增益为  $-5.5\text{mV}/^\circ\text{C}$ 。

虽然 LMT84 线性度很高，但其响应呈现为轻微的伞状抛物线。LMT84 数据表以表格形式列出了不同温度下的输出电压。甚至对于精度较低的线性近似，所需温度范围内的线性关系可通过线性两点方程轻松计算。使用这种线性近似的方法，可以近似计算一个或多个感兴趣的温度范围内的传递函数。

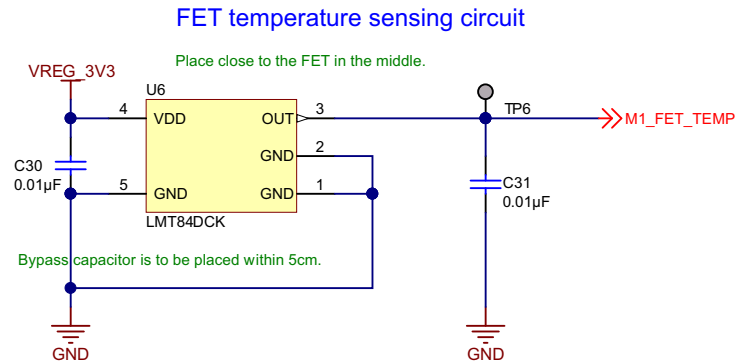


图 9. 散热器温度传感器

### 6.7 故障指示

DRV8303 故障指示输出  $\overline{\text{OCTW}}$  和  $\overline{\text{FAULT}}$  经上拉后与 MSP430 的输入引脚相连。表 4 所示为通过两个故障报告输出引脚指示的 DRV8303 故障。

表 4. 来源于 DRV8303 的故障事件报告

报告引脚	故障事件
$\overline{\text{FAULT}}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PVDD 欠压</li> <li>• DVDD 欠压</li> <li>• GVDD 欠压</li> <li>• GVDD 过压</li> <li>• OTSD_GATE: 栅极驱动器锁存关断</li> <li>• 外部 FET 过载: 锁存模式</li> </ul>
$\overline{\text{OCTW}}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OTW: 过热</li> <li>• OTSD_GATE: 栅极驱动器锁存关断</li> <li>• 外部 FET 过载: 限流模式</li> <li>• 外部 FET 过载: 锁存模式</li> <li>• 外部 FET 过载: 仅报告模式</li> </ul>

### 6.8 DRV10983 — 排水泵电机驱动力的集成电机驱动器

DRV10983 为辅助电机的集成电机驱动器，内置 180° 无传感器控制方案。图 10 中的大容量电解电容 C8 放置于紧邻 VM 并且靠近 IC DRV10983 的位置，旨在实现局部纹波电流能力。

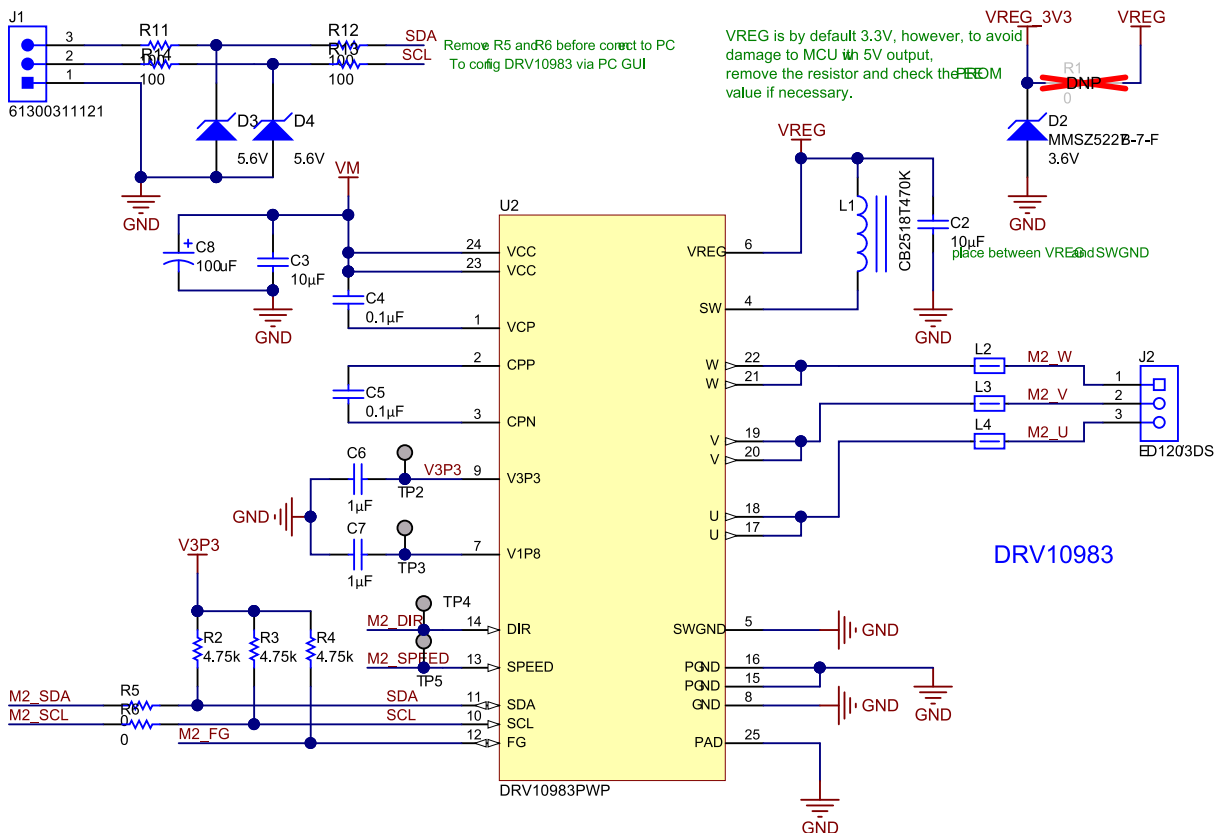


图 10. DRV10983 电路原理图

### 6.8.1 DRV10983 的降压稳压器

DRV10983 具有一个降压稳压器，可作为开关降压型稳压器或线性稳压器（请参见图 11）。稳压器输出电压可通过寄存器位 VregSel 进行配置。当 VregSel 置 0，稳压器输出电压为 5V；当 VregSel 置 1，稳压器输出电压为 3.3V，电流容量为 100mA。本参考设计使用该器件作为 MCU 的电源。L1 和 C2 是降压稳压器的输出滤波器组件。

稳压器电压输出可通过 DRV10983 的内部 EEPROM 配置为 3.3V 或 5V。MCU 通过 DRV10983 产生的 3.3V 电压供电。在 EEPROM 中错误设置 5V 输出电压可能损坏额定电压仅为 3.3V 的 MCU。为了避免此类故障，建议在首次为电路板供电时不安装 R1。正确检查 DRV10983 的 V<sub>REG</sub> 上的 3.3V 输出后，可以安装 R1。此外，提供一个 3.3V 齐纳二极管 D2，以防 MCU 因 DRV10983 的 5V 意外输出受损

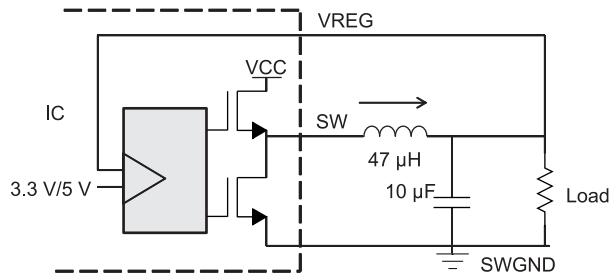


图 11. DRV10983 降压稳压器

### 6.8.2 DRV10983 的保护特性

#### 1. 热关断

DRV10983 内置热关断功能，即在结温超过 150°C 时将器件关断并在降至 140°C 时恢复其工作状态。过热状态位（地址 0x10 bit 7）在热关断过程中置 1。

#### 2. UVLO

DRV10983 内置一个 UVLO 功能模块。UVLO 阈值的迟滞为 300mV（典型值）。该器件在 VCC 低于 7.1V（典型值）时锁定，而在等于 7.4V（典型值）时唤醒。

#### 3. 电流保护

如果测得 FET 的电流超出 4A（典型值）阈值，过流关断功能起到保护器件的作用。如果意外发生相位接地短路或相位间短路，该功能为器件提供保护；DRV10983 将输出驱动器置于高阻抗状态并在过流现象消失前始终保持这一状态。过流状态位（地址 0x10 bit 5）置 1。

DRV10983 还提供加速电流限制和锁定检测电流限制功能保护器件和电机。

#### 4. 锁定保护

当电机在外力的作用下受阻或停转，锁定保护触发，该器件立即停止驱动电机。经过 5 秒释放锁定时间，DRV10983 再次恢复驱动电机。如果锁定状态仍然存在，则进入下一锁定保护周期，直至锁定状态移除。通过锁定保护，电机和器件不会因电机锁定过热或受损。电机锁定状态位（地址 0x10 bit 4）在锁定状态下置 1。为了进一步诊断，请检查寄存器故障代码。

### 6.8.3 I<sup>2</sup>C 通信

DRV10983 提供 I<sup>2</sup>C 从接口及从地址 '101 0010'。TI 建议在 I<sup>2</sup>C 接口端口 SCL 和 SDA 经由一个 4.7k $\Omega$  上拉电阻连接 3.3V 电源。四个读/写寄存器 (0x00:0x03) 用于设置电机转速并控制器件寄存器及 EEPROM。

器件运行状态可通过 12 个只读寄存器 (0x10:0x1E) 回读。另外 12 个 EEPROM 寄存器 (0x20:0x2B) 用于编程设定电机参数并优化应用的自旋加速配置文件。

## 7 固件入门

本参考设计包括的固件基于添加了 DRV10983 控制功能的 [TIDA-00274](#) 固件。循环泵电机由 MSP430 中运行的 InstaSPIN-BLDC 算法进行驱动。InstaSPIN-BLDC 是 TI 众多旗舰电机控制技术中的一员，面向成本敏感型无传感器 BLDC 应用。这项无传感器技术使用传统梯形换向或 120° 换向，通过集成非通电相的 BEMF 监测电机磁通量来确定换向情况。对于无需高精度转速控制和快速动态转矩响应的市场领域（如风扇、泵、鼓风机等），TI MSP430G2x 超值系列器件实现的 InstaSPIN-BLDC 足以满足低成本要求。有关 [TIDA-00274](#) 固件的详细信息，请参见产品页面。

由于 TIDA-00447 和 MCU 所用部件号不同，因此需要修改 TIDA-00274 固件中的一些引脚映射和配置。TIDA-00447 固件中通过 SPI 与 DRV8303 进行通信，旨在加速开发并评估应用 DRV8303 的设计。

使用 DRV10983 的次级泵控制 主要具备 以下几项功能：

- I<sup>2</sup>C 通信
- 通过 MCU 在 DRV10983 的 EEPROM 中设置电机参数
- 电机速度通过 I<sup>2</sup>C 和 MCU 的 PWM 输出进行控制
- 读取 DRV10983 传输的 FG 信号

### 7.1 修改硬件配置

本参考设计使用 MSP430G2744。控制算法在给定时间点仅需一条定时器输出 PWM 通道。同一 PWM 定时器输出的使用方法为根据换向序列，在不同时刻将其映射到 MCU 的不同引脚。本参考设计使用 TA1 上的 PWM 输出，所用引脚在图 12 中进行了标记。

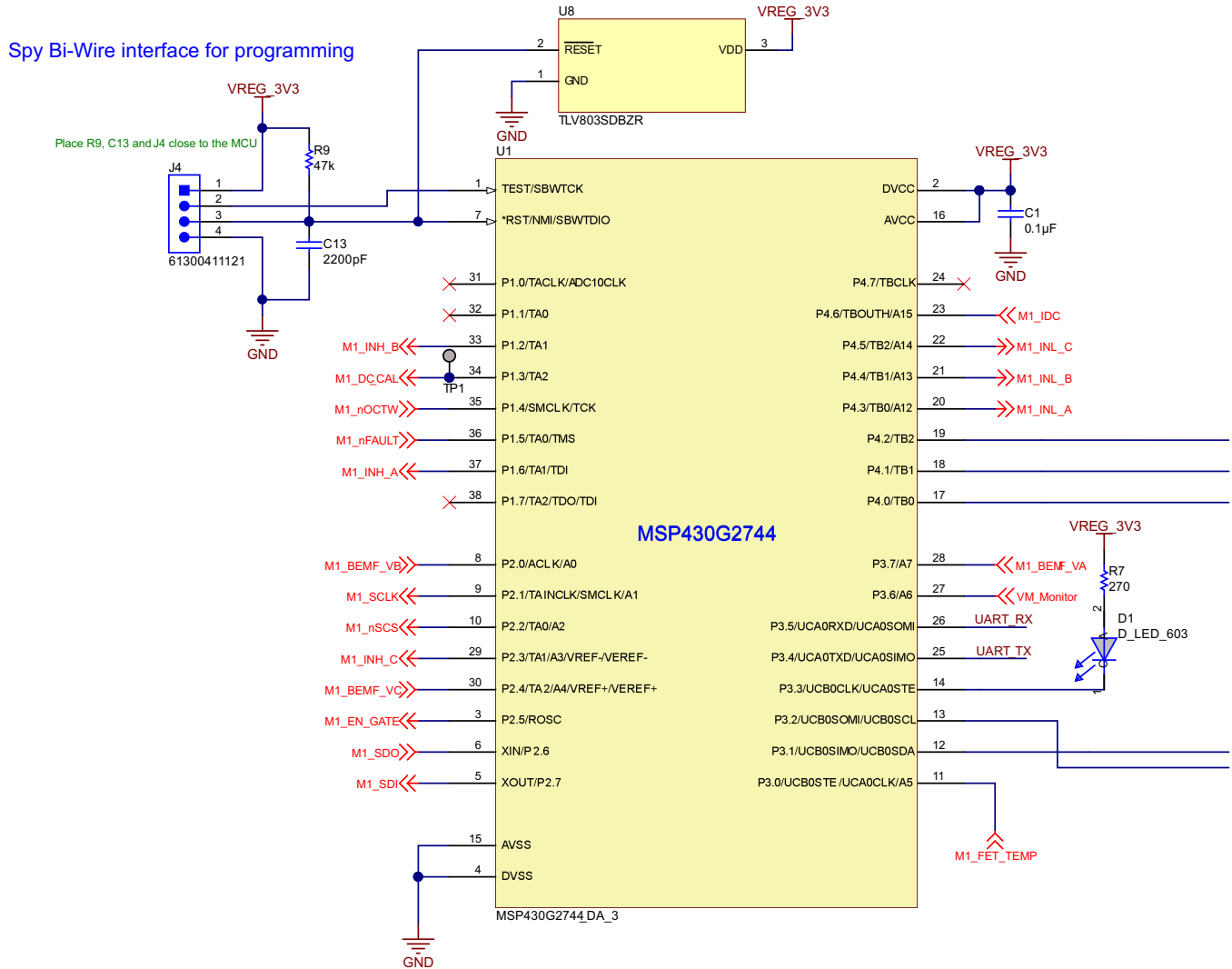


图 12. MSP430G2744 中 PWM 输出的引脚映射



固件附带硬件配置文件“hardware\_config.c”。根据实际硬件配置更改文件中的接口内容。需要更改的接口包括：

```

void A_HIGH (void);
void A_LOW (void);
void A_PWM (void);
void A_Z(void);

void B_HIGH (void);
void B_LOW (void);
void B_PWM (void);
void B_Z(void);

void C_HIGH (void);
void C_LOW (void);
void C_PWM (void);
void C_Z(void);

void DRV_RESET_ENABLE(void);
void DRV_RESET_DISABLE(void);
uint8_t FAULT_STATE_PIN_FUNCTION(void);
volatile uint16_t * PWM_INITIALIZER(void);
uint16_t PWM_REGISTER_READ(void);

void High_Impedance(void);
    
```

由于在设计过程中还可以更改 ADC 通道，因此下列宏定义可能随之发生变化。

```

MEASURE_VDC
MEASURE_IDC
MEASURE_A
MEASURE_B
MEASURE_C
    
```

## 7.2 配置 DRV8303 寄存器

固件中提供一个基于 GPIO 的 SPI 驱动器。用户可以将“drv\_8303.c”和“drv\_8303.h”文件纳入项目中并使用

```
uint16_t ReadRegister(uint8_t);
void WriteRegister(uint8_t, uint16_t);
```

的简单接口读写 DRV8303 的状态和控制寄存器。由于接口使用内在程序 `__delay_cycles`，因此在时间为关键因素的例程中调用这些接口时需要小心谨慎。

为了便于使用，drv8303.h 以宏定义形式提供寄存器位。其中包括：

```
/* Register 0x02 */
#define GATE_CURRENT_1P7      0x000
#define GATE_CURRENT_0P7      0x001
#define GATE_CURRENT_0P25     0x002
#define GATE_CURRENT_RSVD     0x003
#define GATE_RESET_NORMAL     (0x000 << 2)
#define GATE_RESET_LATCHED    (0x001 << 2)
#define PWM_MODE_INDEPENDENT   (0x000 << 3)
#define PWM_MODE_COMPLEMENTARY (0x001 << 3)
#define OC_MODE_LIMIT          (0x000 << 4)
#define OC_MODE_SHUTDOWN       (0x001 << 4)
#define OC_MODE_REPORT_ONLY    (0x002 << 4)
#define OC_MODE_PROTECTION_DISABLED (0x003 << 4)

#define OC_ADJ_SET            (0x00A << 6)/* user define according to RDSOEN */

/* Register 0x03 */
#define OCTW_SET_OTOC          (0x000)
#define OCTW_SET_OT            (0x001)
#define OCTW_SET_OC            (0x002)
#define OCTW_SET_RSVD         (0x003)
#define OPAMP_GAIN_10V         (0x000 << 2)
#define OPAMP_GAIN_20V         (0x001 << 2)
#define OPAMP_GAIN_40V         (0x002 << 2)
#define OPAMP_GAIN_80V         (0x003 << 2)
#define DC_CAL_CH1_LOAD        (0x000 << 4)
#define DC_CAL_CH1_SHORT       (0x001 << 4)
#define DC_CAL_CH2_LOAD        (0x000 << 5)
#define DC_CAL_CH2_SHORT       (0x001 << 5)
#define OC_TOFF_NORMAL         (0x000 << 6)
#define OC_TOFF_OFFTIME        (0x000 << 6)
```

OC\_ADJ\_SET 宏必须由用户根据系统所用过流阈值进行设置。该项目选择 0.197V，因此 OC\_ADJ\_SET 设置为 (0x007 << 6)。

### 7.3 配置 DRV10983 寄存器

DRV10983 内部寄存器和 EEPROM 可以通过标准 I<sup>2</sup>C 通信接口从系统中的 MCU 或通过外部校准工具（如 USB2ANY）进行配置。

本参考设计提供 MCU 的配置供用户参考。“drv\_10983.c”和“drv\_10983.h”文件为 I<sup>2</sup>C 通信提供必要的接口定义。

更多详细信息，请参见《DRV10983 编程指南》（文献编号：SLVUAA5）。

如需调试用户指定的电机，请参见《DRV10983 与 DRV10975 调试指南》。图 13 演示了调试过程。有关文档和支持的详细信息，请联系当地技术支持部门。

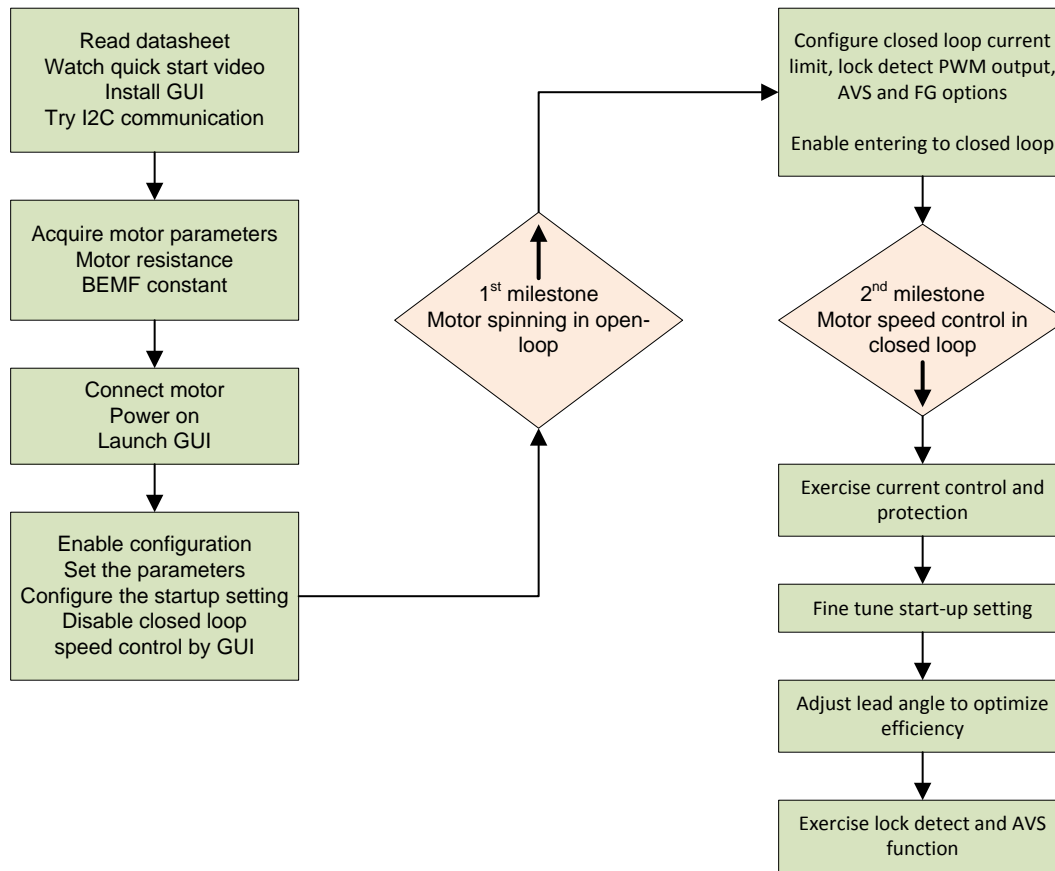


图 13. 针对 DRV10983 调试电机参数的事件

## 7.4 测试点

为了简化测试，电路板为 TIDA-00447 硬件提供充足测试点。有关测试点与信号的关系，请参见表 5 或示意图。

表 5. 测试点说明

测试点	信号网络	说明
TP1	M1_DC_CAL	DRV8303 的直流偏移校准
TP2	V3P3	DRV10983 的 3.3V 内部电源电压
TP3	V1P8	DRV10983 的 1.8V 内部数字内核电压
TP4	M2_DIR	DRV10983 的方向命令
TP5	M2_SPEED	DRV10983 的速度命令
TP6	M1_FET_TEMP	LMT84 传输的 FET 温度
TP7	GND	接地
TP8	GND	接地
TP9	GND	接地
TP10	M1_BEMF_VA	MCU ADC A 相的 BEMF
TP11	M1_BEMF_VB	MCU ADC B 相的 BEMF
TP12	M1_BEMF_VC	MCU ADC C 相的 BEMF
TP13	VM_Monitor	MCU ADC 的 VM 采样
TP14	VREG	DRV10983 的稳压器输出
TP15	M2_FG	DRV10983 传输至 MCU 的速度反馈
TP16	M1_nOCTW	DRV8303 的 nOCTW 信号
TP17	M1_nFAULT	DRV8303 的 nFAULT 信号
TP18	M1_INH_A	由 MCU 传输至 DRV8303 A 相的高侧输入
TP19	M1_INL_A	由 MCU 传输至 DRV8303 A 相的低侧输入 (PWM)
TP20	M1_INH_B	由 MCU 传输至 DRV8303 B 相的高侧输入
TP21	M1_INL_B	由 MCU 传输至 DRV8303 B 相的低侧输入 (PWM)
TP22	M1_INH_C	由 MCU 传输至 DRV8303 C 相的高侧输入
TP23	M1_INL_C	由 MCU 传输至 DRV8303 C 相的低侧输入 (PWM)

## 8 测试结果

图 14 和图 15 所示为装配电路板的俯视图和仰视图。由此可见，完整组件与元件仅安装于电路板顶部。

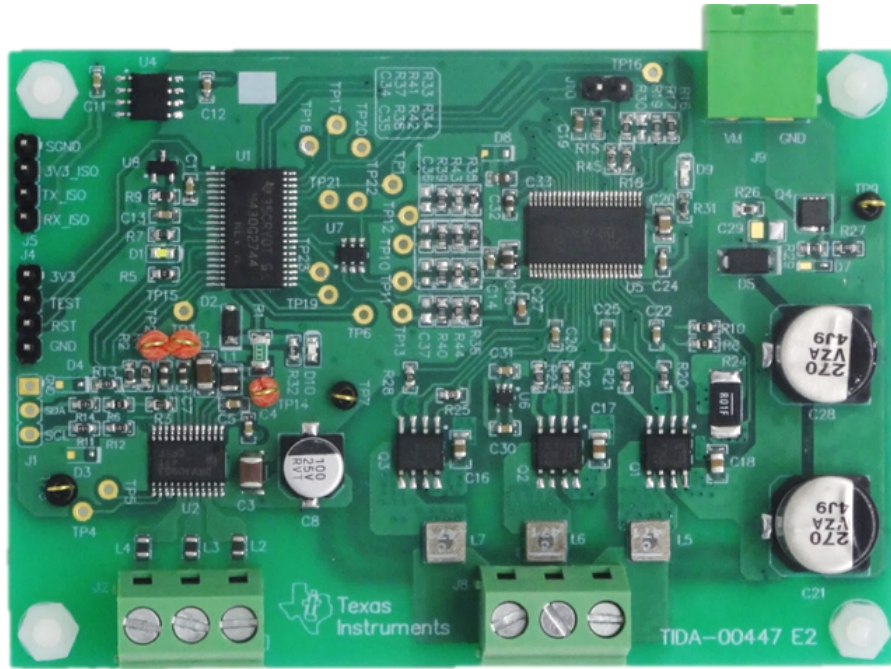


图 14. 组装的控制单元 — 俯视图

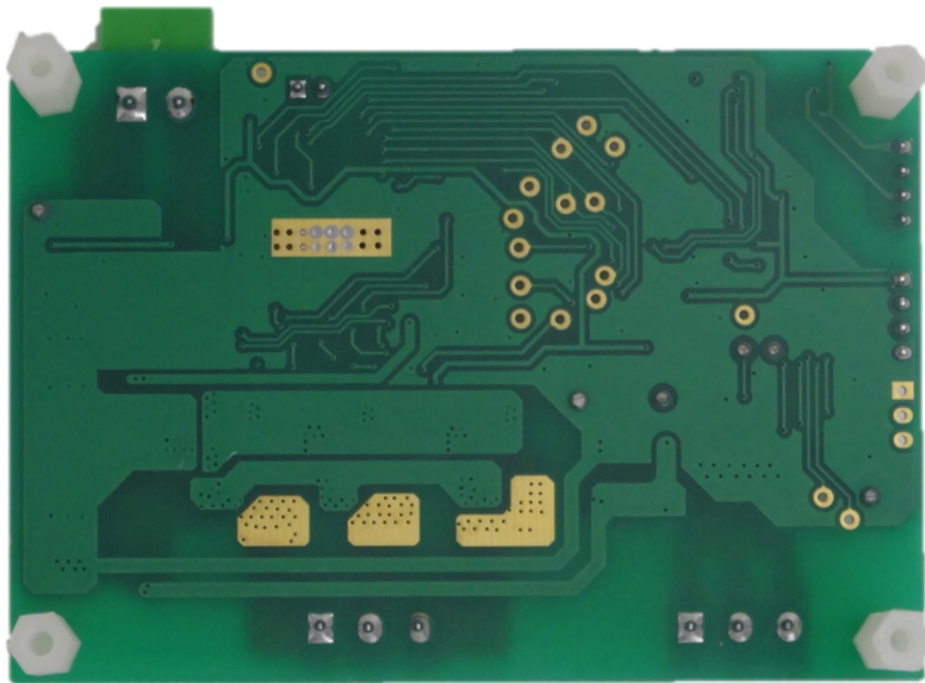


图 15. 组装的控制单元 — 仰视图

### 8.1 功能测试

图 16 所示为 DRV10983 降压稳压器产生的 3.3V 电压。图 17 所示为 3.3V 电压轨的纹波。

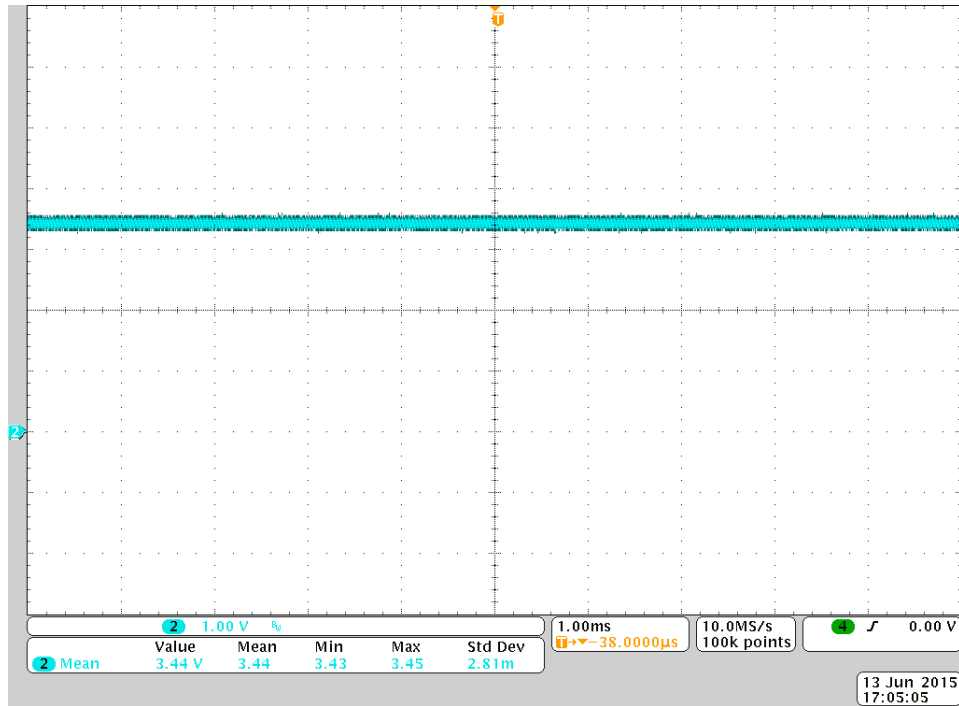


图 16. DRV10983 降压稳压器产生的 3.3V 输出电压

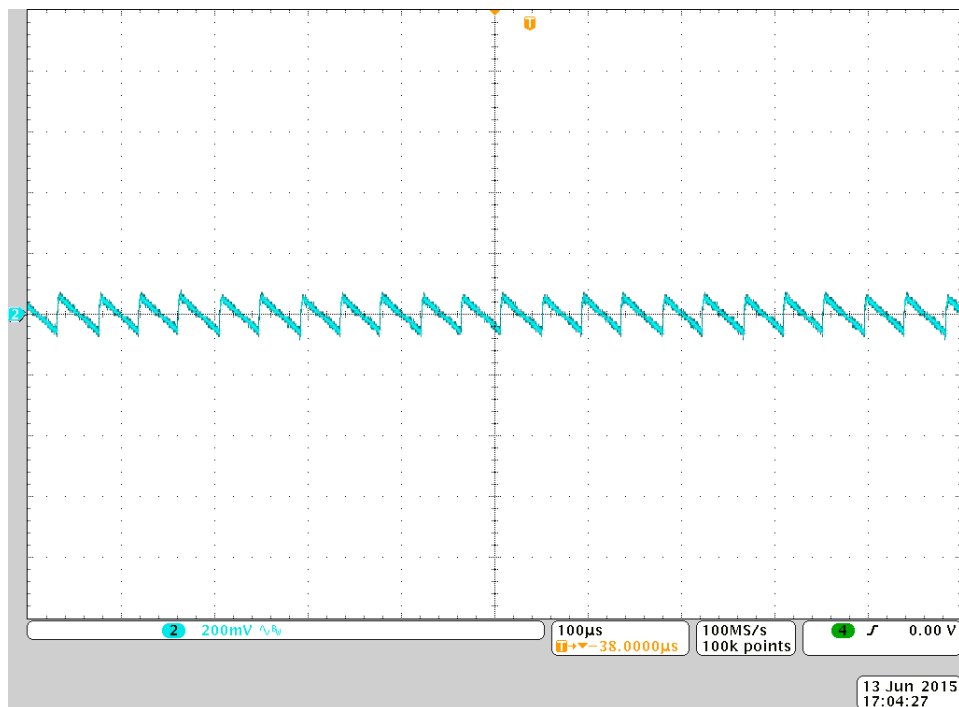


图 17. DRV10983 降压稳压器产生的 3.3V 输出电压中的纹波

3.3V 输出的峰峰值纹波电压约为 140mV。

DRV8303 的内部稳压器产生不同稳压电压。其中包括与 DRV8303 内部电路运行相关的 GVDD、AVDD 及 DVDD。图 18 所示为 DRV8303 的 GVDD 电压，GVDD 的电压纹波则如图 19 所示。测得 GVDD 处的平均电压为 11V，远高于欠压额定值 (7.5V)。

测试循环泵电机驱动

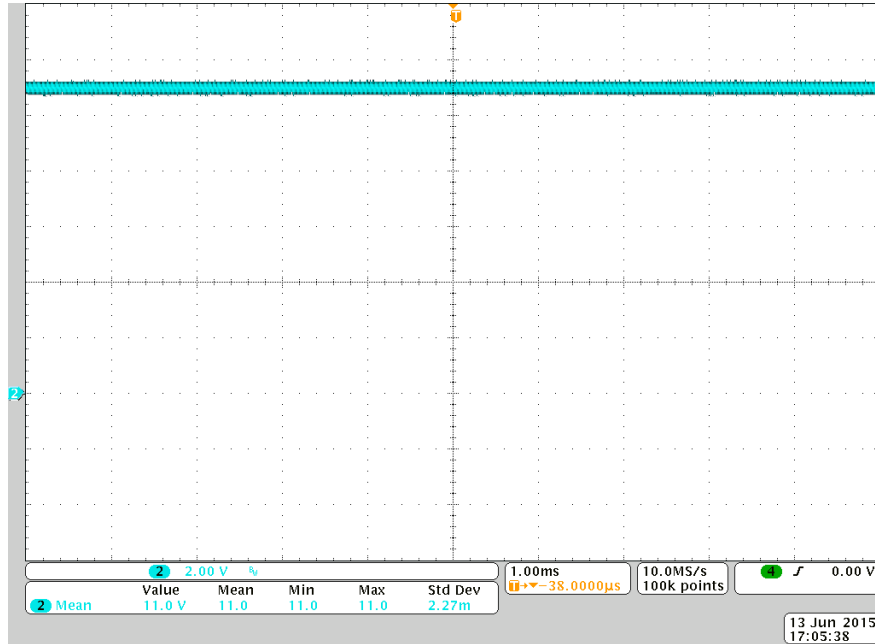


图 18. DRV8303 GVDD 引脚处的电压

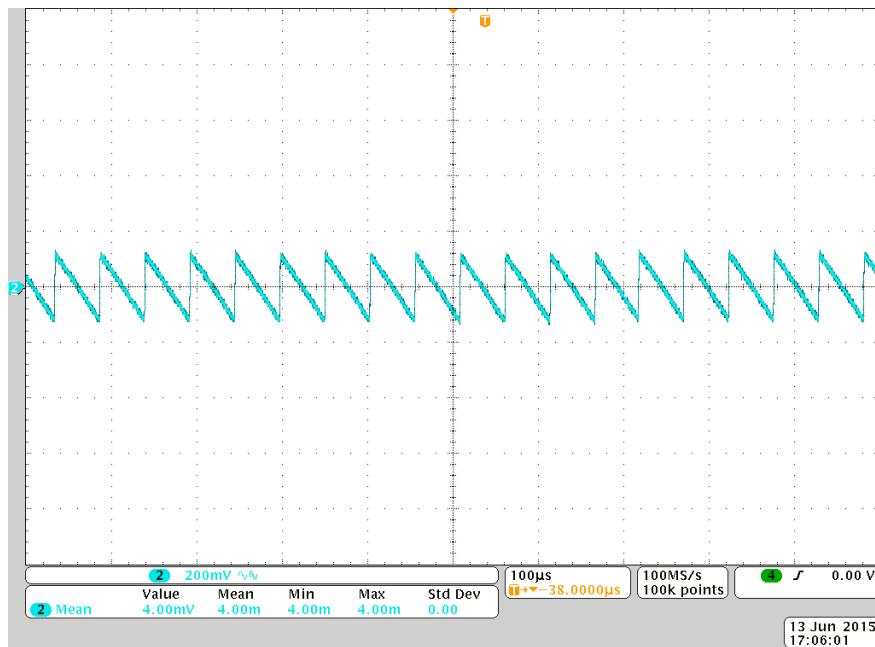


图 19. DRV8303 GVDD 引脚处的电压纹波

GVDD 中的峰峰值纹波电压约为 240mV。

图 20 所示为 DRV8303 DVDD 引脚处的电压输出，DVDD 电压轨的纹波则如图 21 所示。

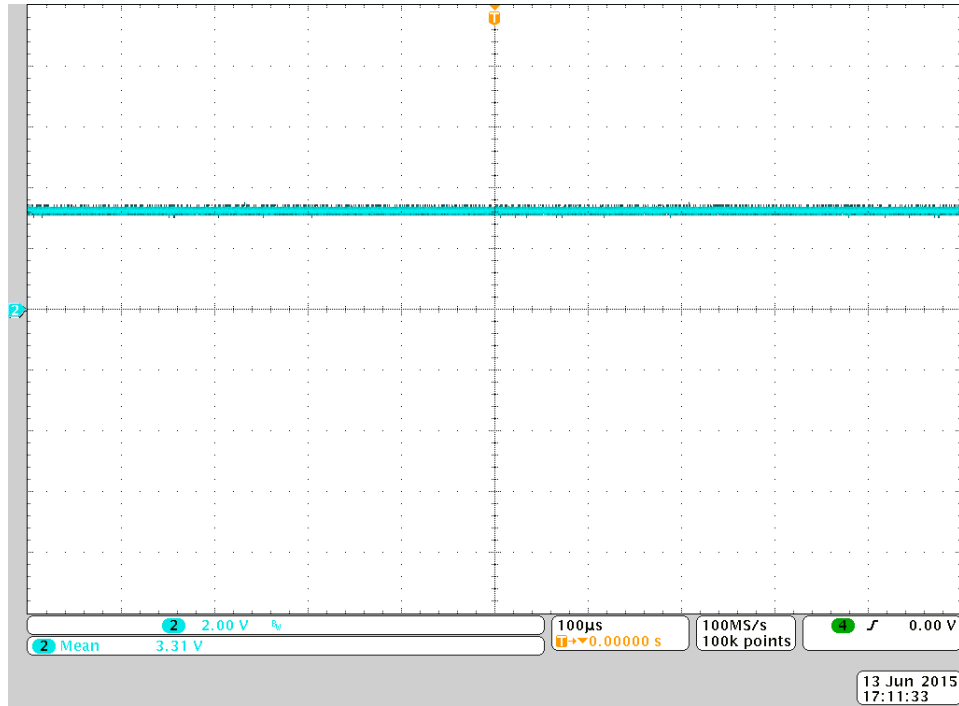


图 20. DRV8303 DVDD 引脚处的电压

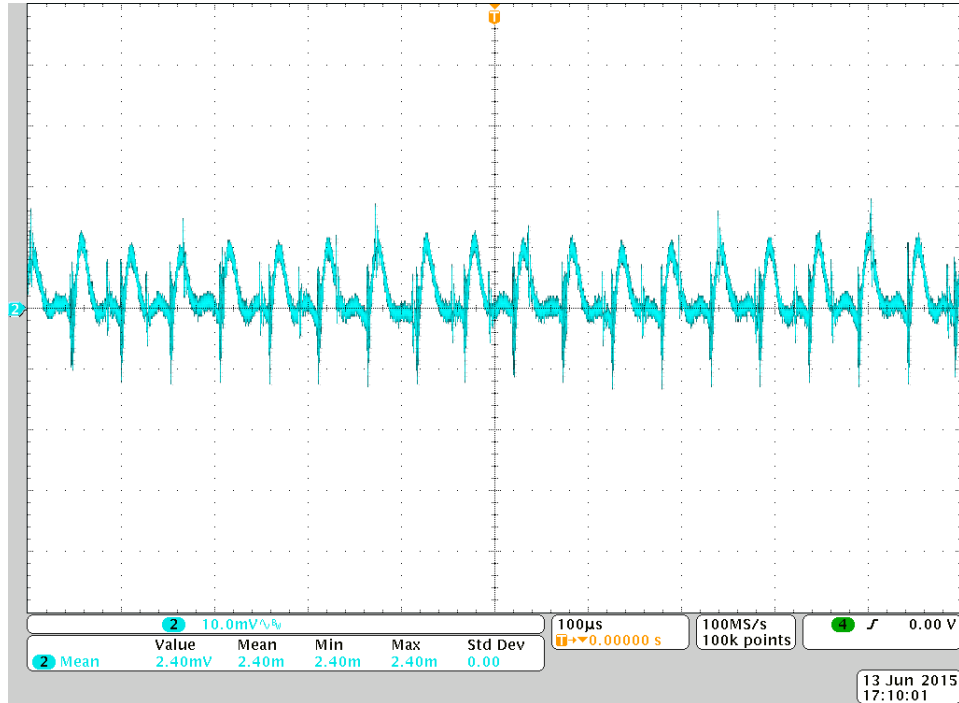


图 21. DRV8303 DVDD 引脚处的电压纹波



图 22 所示为 DRV8303 AVDD 引脚处的电压输出，AVDD 电压轨的纹波则如 图 23 所示。AVDD 引脚提供的平均电压为 6.64V。

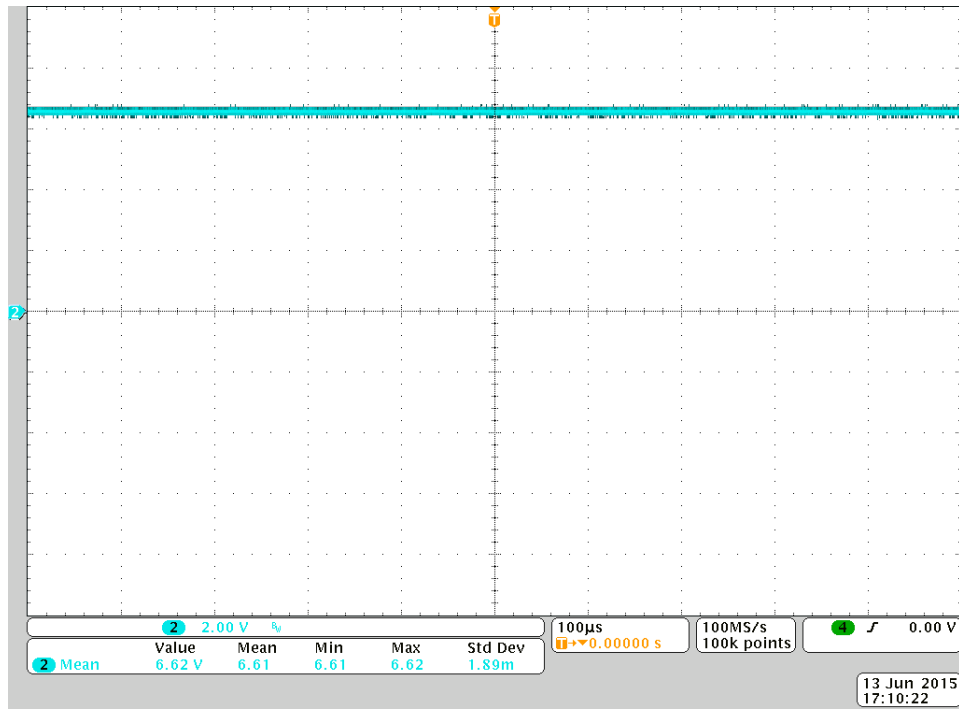


图 22. DRV8303 AVDD 引脚处的电压

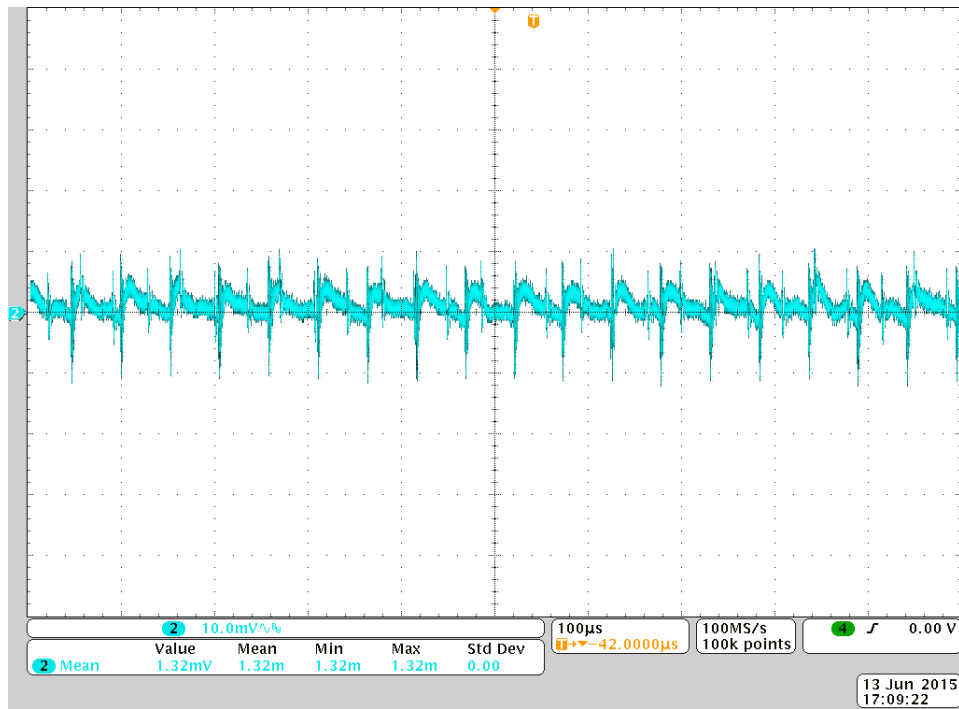


图 23. DRV8303 AVDD 引脚处的电压纹波

MSP430 控制器产生的 PWM 信号馈入 DRV8303 栅极驱动器。控制单元逆变器中使用 20kHz 开关频率。图 24 所示为高侧 MOSFET 的极地电压（来自 DRV8303 输出），及其对应的 DRV8303 输入（来自 MCU）。

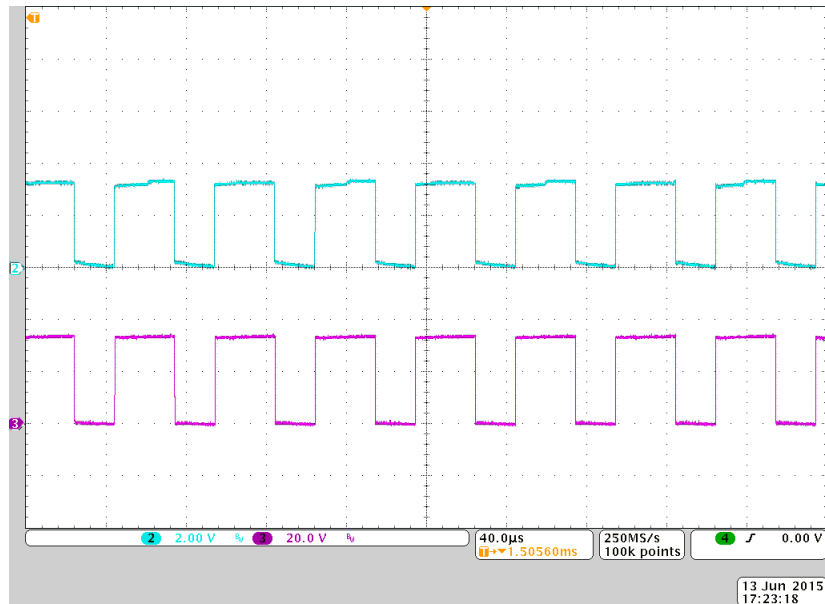


图 24. DRV8303 的高侧 PWM 输入和输出

通道 2: DRV8303 的 PWM 输入; 通道 3: DRV8303 的 PWM 输出。

图 25 显示了同一逆变器臂的高侧和低侧 MOSFET 中的两个 PWM 栅极信号（由 DRV8303 传输）。（顶部和底部波形根据同一接地基准测得。）

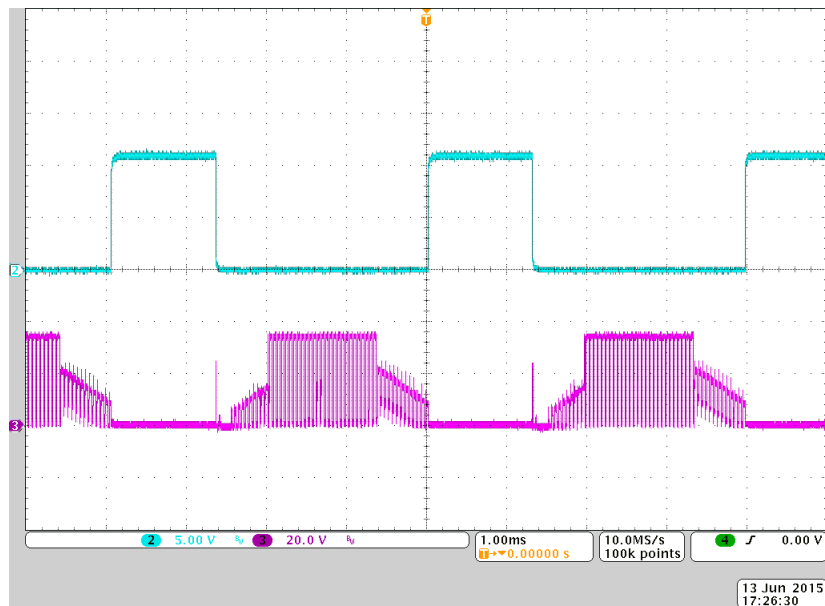


图 25. DRV8303 高侧栅极接地信号与低侧栅源信号间的关系

通道 2: DRV8303 的低侧栅源信号; 通道 3: 同一条逆变器臂上的 DRV8303 高侧栅极接地信号。

图 26 所示为当 PWM 占空比为 50% 时，单绕组电流对应的三相 BEMF 电压。图 28 所示为经示波器滤波的电机线电压。

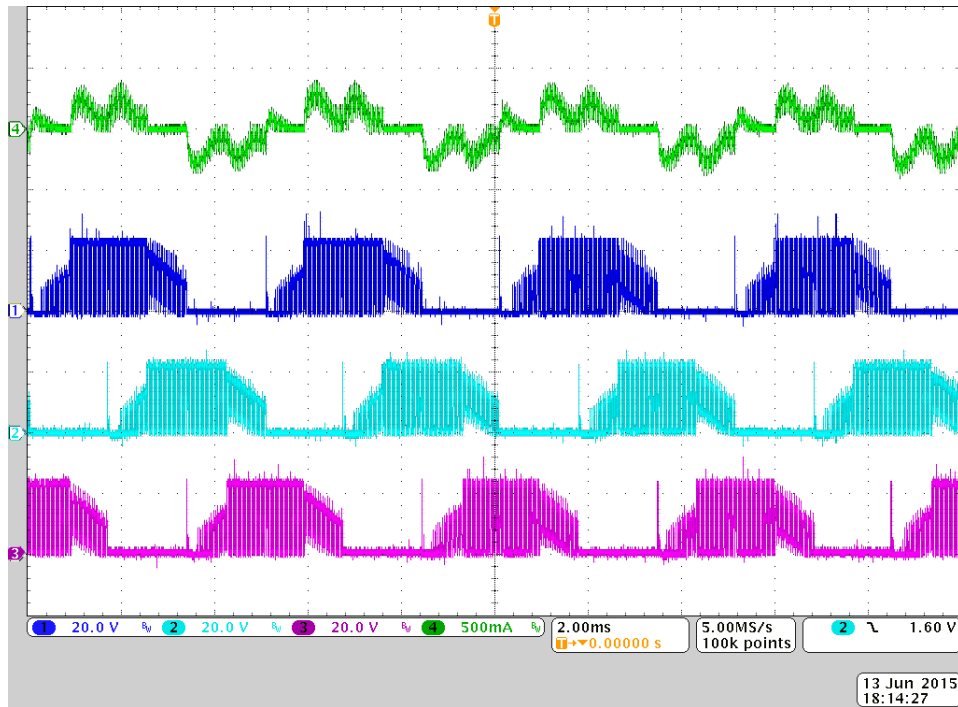


图 26. 单绕组电流对应的三相 BEMF 电压（PWM 占空比为 50%）。

通道 1：A 绕组相对于负直流总线的电压；通道 2：B 绕组相对于负直流总线的电压；通道 3：C 绕组相对于负直流总线的电压；通道 4：A 绕组电流。

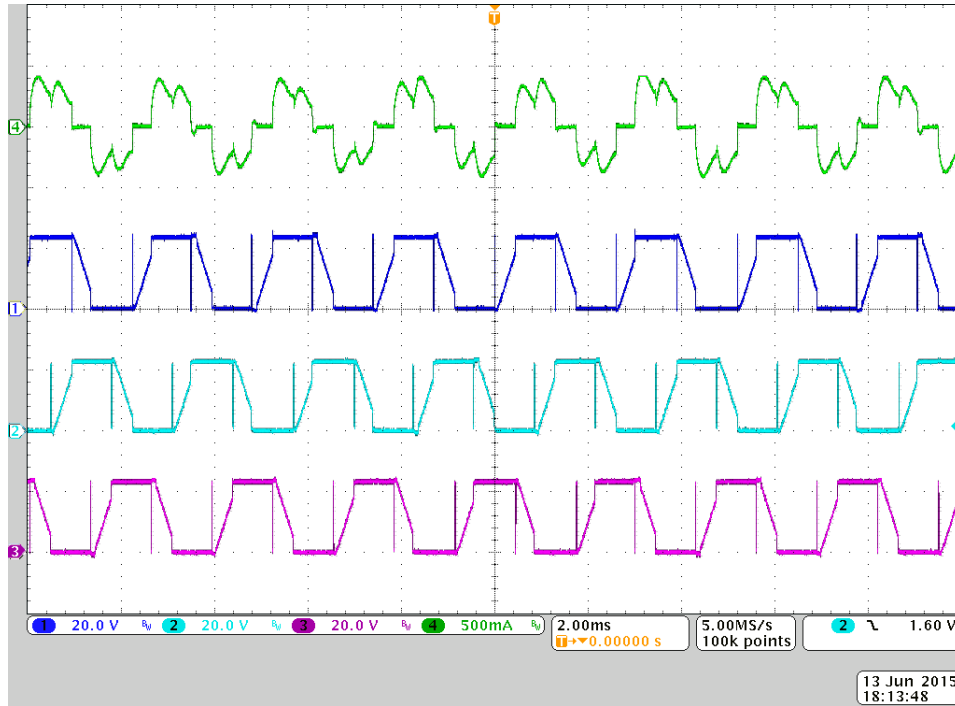


图 27. 单绕组电流对应的三相 BEMF 电压 (PWM 占空比为 100%)。

通道 1: A 绕组相对于负直流总线的电压; 通道 2: B 绕组相对于负直流总线的电压; 通道 3: C 绕组相对于负直流总线的电压; 通道 4: A 绕组电流。

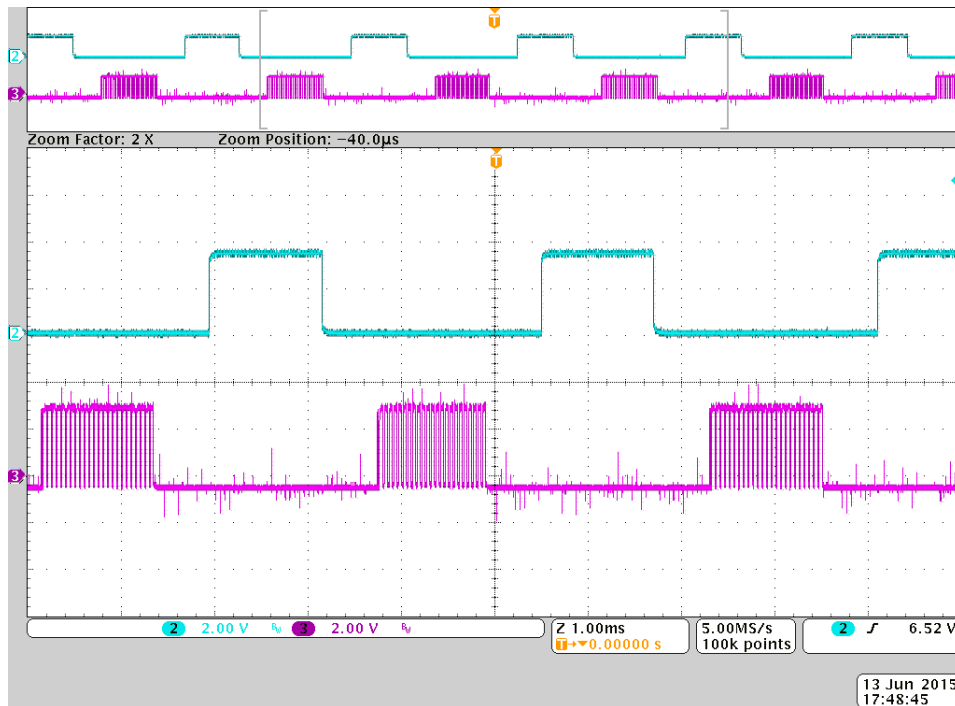


图 28. DRV8303 逆变器电路同一臂上的 MCU 输出信号

通道 2: MCU 传输至 DRV8303 的开关信号; 通道 3: MCU 传输至 DRV8303 同一臂的 PWM 信号。

测试排水泵电机驱动

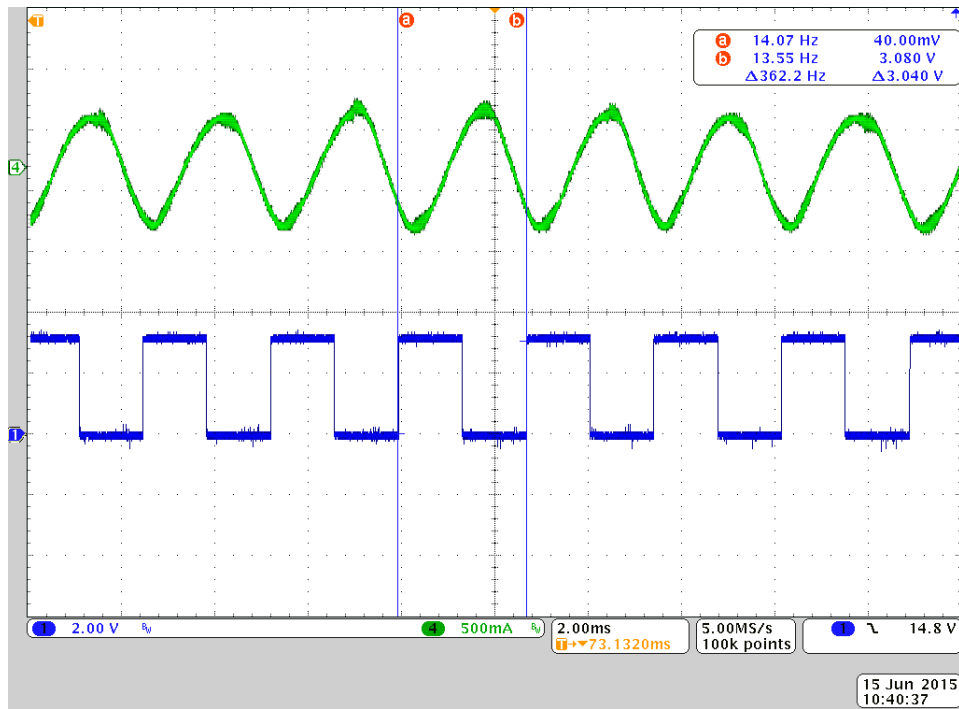


图 29. DRV10983 速度信号与 FG 间的关系 (FGcycle == 0x00)

通道 1: DRV10983 传输的 FG 信号; 通道 3: 绕组电流。

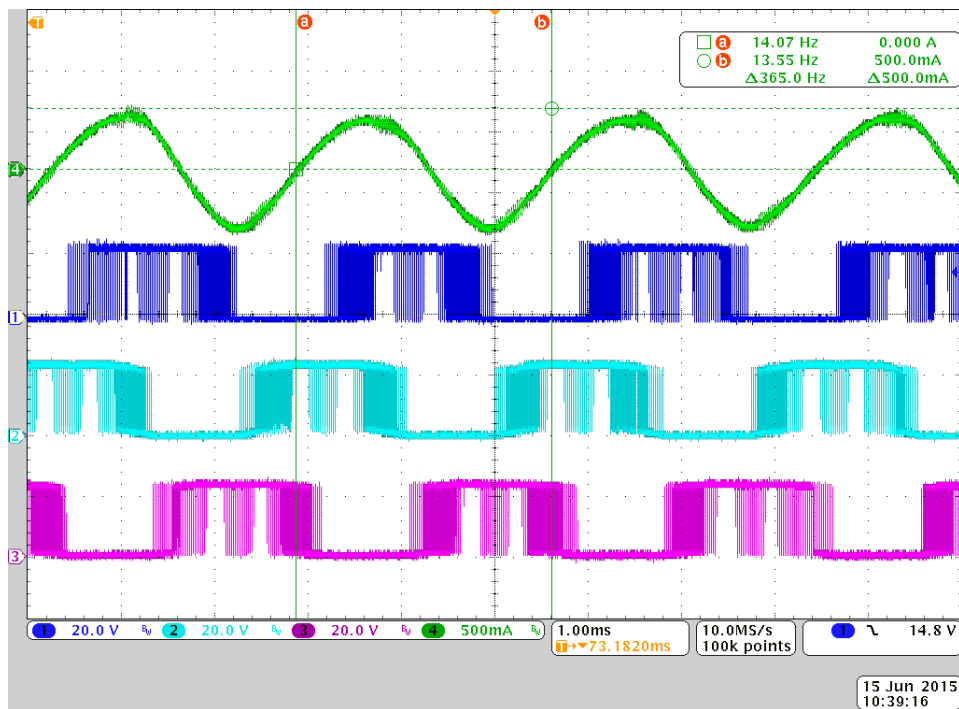


图 30. DRV10983 单绕组电压与电流间的关系

通道 1: A 绕组相对于负直流总线的电压; 通道 2: B 绕组相对于负直流总线的电压; 通道 3: C 绕组相对于负直流总线的电压; 通道 4: A 绕组电流。

## 8.2 负载测试

进行负载测试的目的是确定功率级的散热特性和电流处理能力。图 31 所示为负载测试装置的框图。

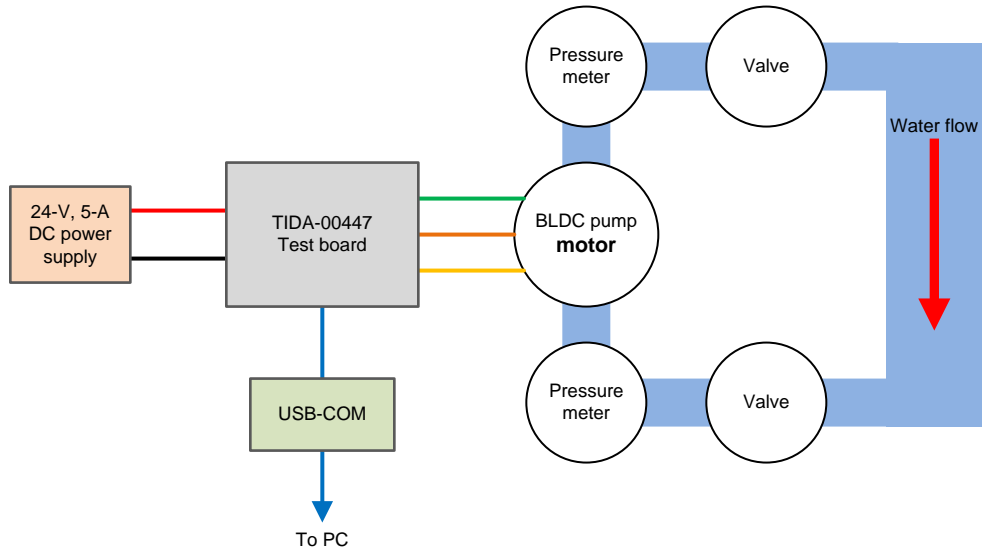


图 31. 负载测试装置框图（图示）

使用简易泵测试设备执行系统负载测试。图 32 所示为本参考设计构建的测试设备。该系统由水箱、流量计、压力表和两个阀门组成。

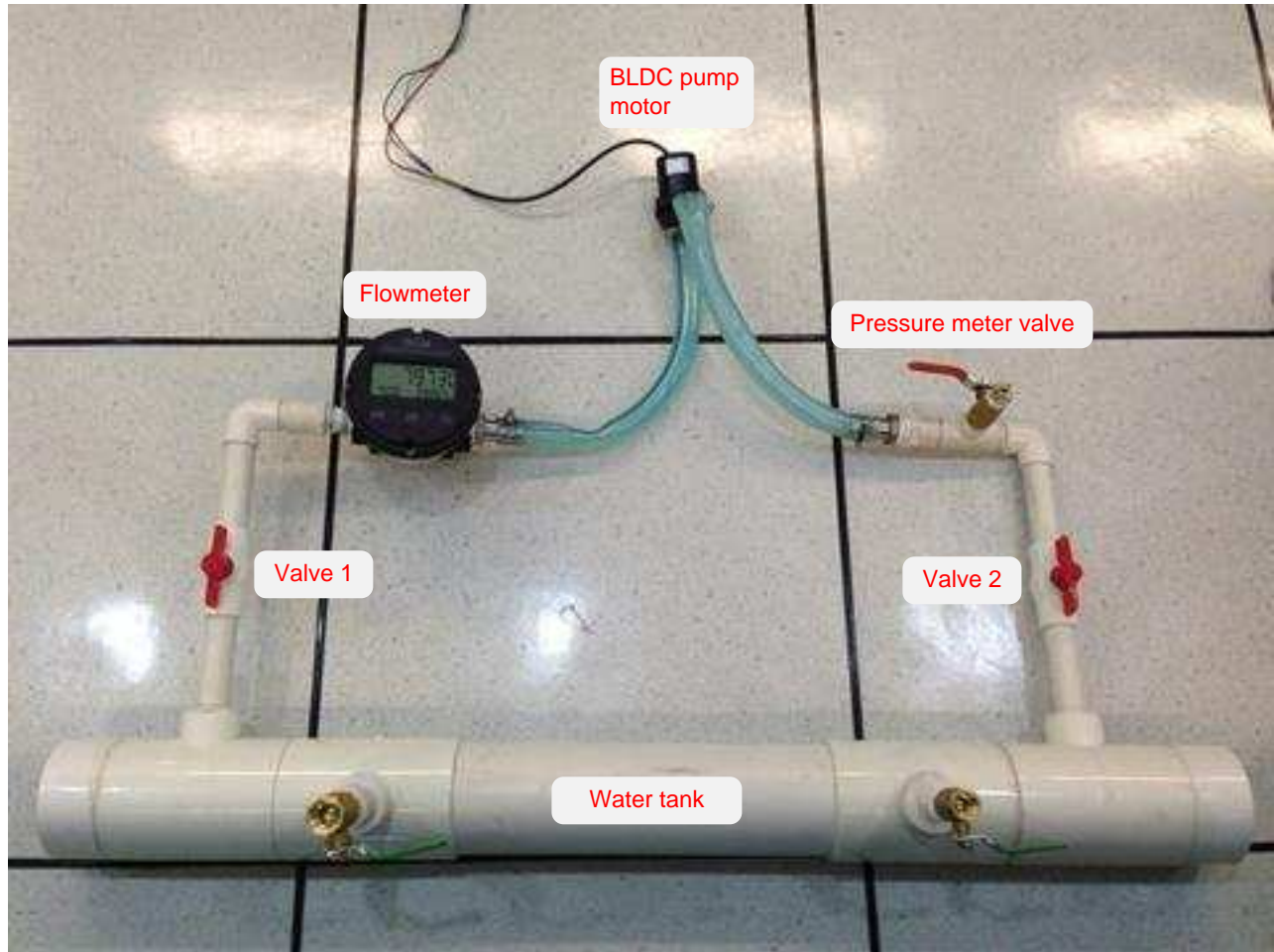


图 32. 负载测试装置框图（照片）

被测电机与测试设备相连。测试中使用额定值为 2400RPM/86.4W 的电机。无刷电机通过测试系统中的水循环带载。系统水压可通过关闭或开启阀门 1 和 2 进行调节。负载测试在电机以恒定速度运行的条件下完成，MSP430 中的固件以速度模式运行，这是一种闭环速度控制。在测试过程中，可借助 GUI 在 0 至 2400RPM 范围内调节 8 极 BLDC 电机转速。测量值包括电机转速、电机绕组电流的 RMS 和峰值、水道压力、直流链路电压和直流链路电流。电路板温度通过热像仪测量。

使用测试设备分别测试主泵（循环泵）和次级泵（排水泵）。使用同一泵电机负载测试两个板载驱动器。图 33 所示为被测电机和测试板间的连接。

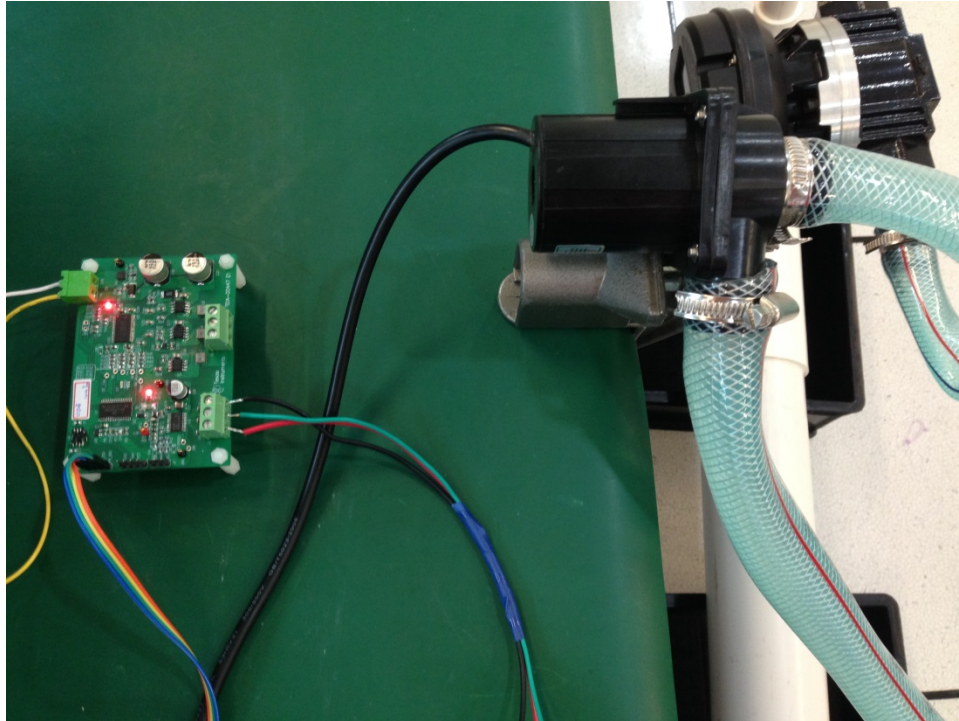


图 33. 带有测试系统的组装控制板



8.2.1 转速控制

图 34 所示为 DRV10983 所驱动电机的绕组电流（转速为 2400RPM）以及相对于负直流总线的绕组电压测量值。

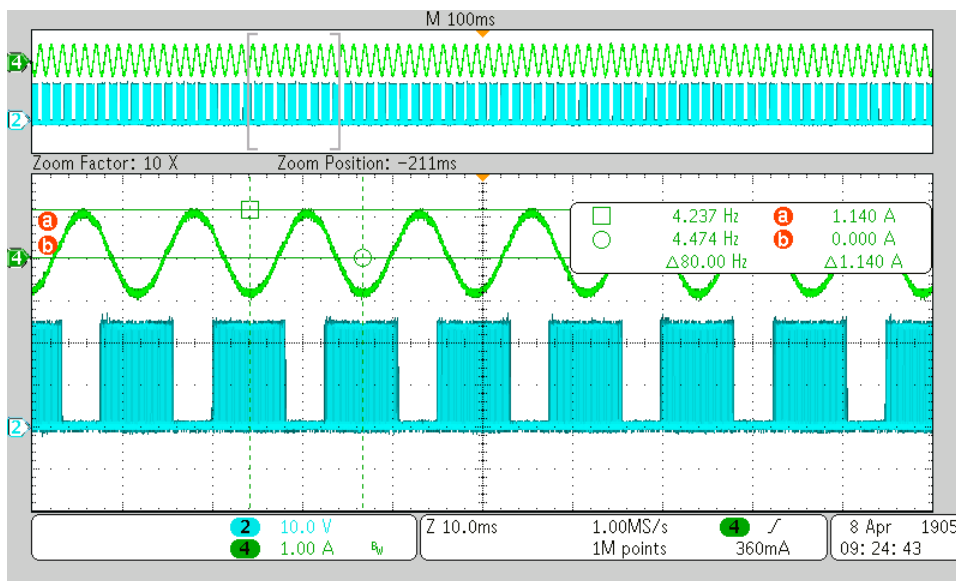


图 34. DRV10983 负载测试 — 绕组电流以及相对于负直流总线的绕组电压测量值。

通道 2: 相对于负直流总线的绕组电压测量值; 通道 4: 绕组电流。

图 35 显示了 DRV10983 控制 PWM 输入的占空比与电机转速间的关系:

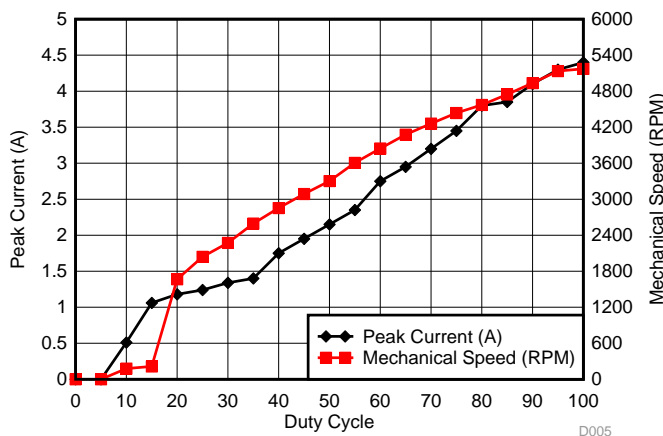


图 35. 速度信号占空比与电机转速间的关系

图 36 所示为 DRV8303 所驱动电机的绕组电流（转速为 2400RPM）以及相对于负直流总线的绕组电压测量值。

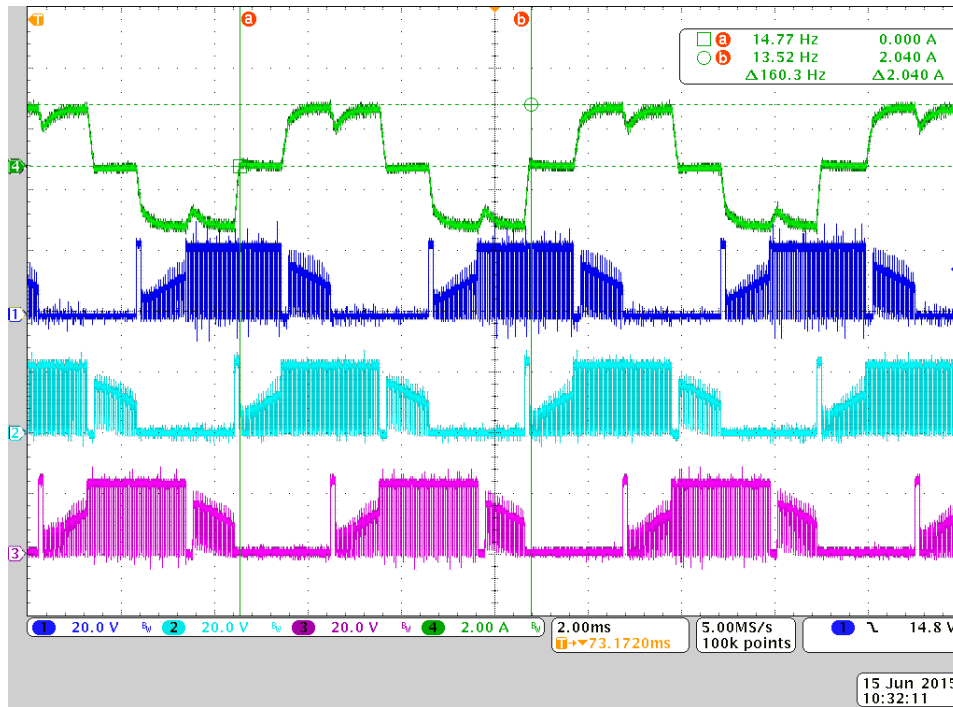


图 36. 相电流与三相电压间的关系 (DRV8303 带载)

通道 1: A 绕组相对于负直流总线的电压; 通道 2: B 绕组相对于负直流总线的电压; 通道 3: C 绕组相对于负直流总线的电压; 通道 4: A 绕组电流。

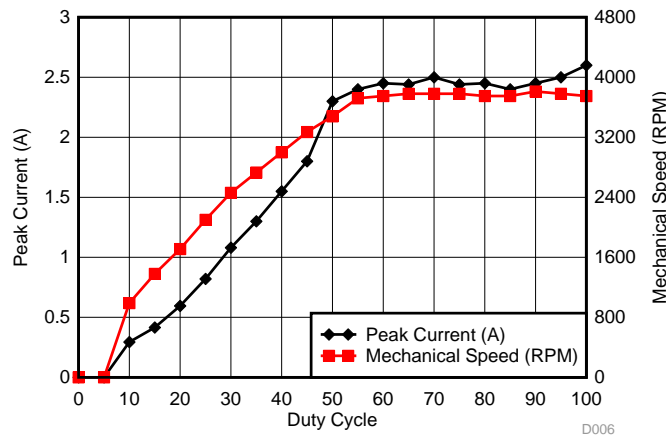


图 37. 占空比控制与电机转速间的关系

### 8.2.2 散热状态测试

建议 TIDA-00447 电路板在无强制空气流动的开放式框架条件下运行，以便在环境温度为 25°C 且无空气流动的实验室条件下产生以下测试结果。

图 38 所示为  $V_{DC} = 24V$  且主泵（循环泵）以其最高输出运行时，PCB 组件的热像。

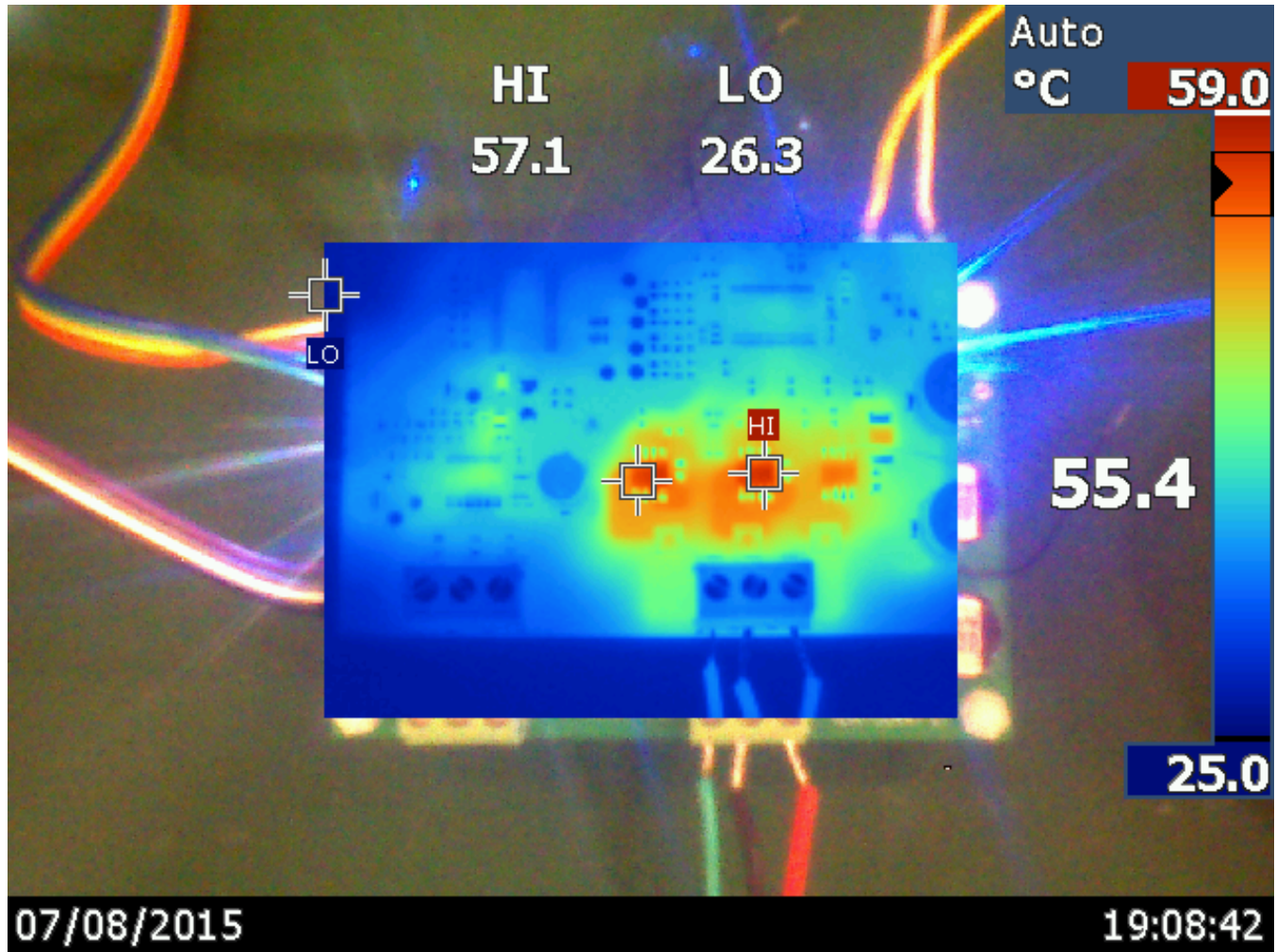


图 38. 24V 下的负载测试 — 绕组电流为 4.7 A<sub>PEAK</sub> 时的电路板热像

表 6. 负载测试结果（输入电压为 24V，绕组电流为 4.7 A<sub>PEAK</sub>）

直流电流 (A)	峰值绕组电流 (A)	电机电气频率 (Hz)	机械速度 (RPM)	DRV8303 的顶部外壳温度 (°C)	CSD88539ND 的顶部外壳温度 (°C)
4	4.7	175	5250	41.1	57.1

图 39 所示为次级泵（排水泵）以 30W 额定输出功率 ( $1.77 A_{PEAK}$ ) 运行时的 PCB 组件热像（此时  $V_{DC} = 24V$ ）。

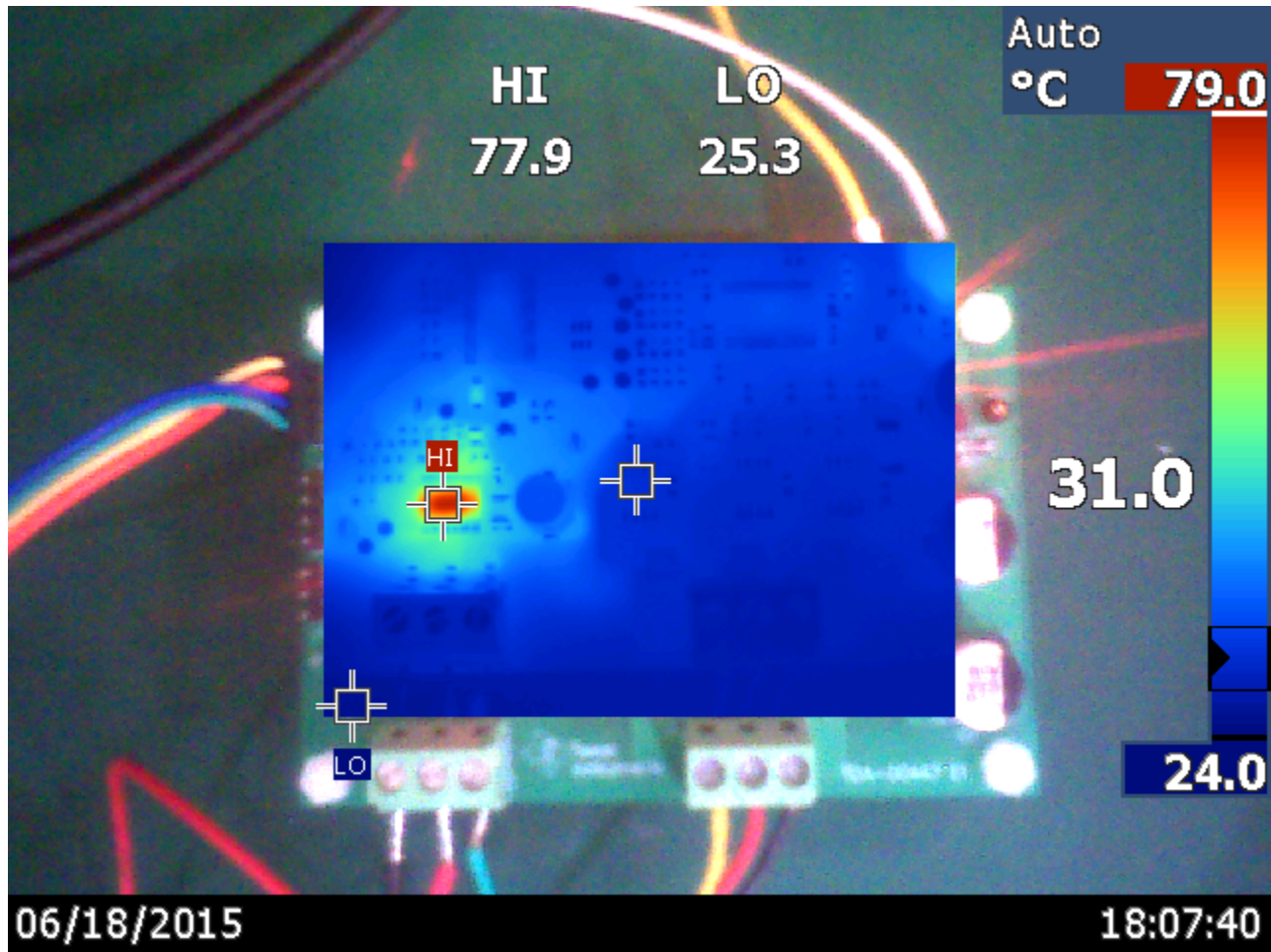


图 39. 24V 下的负载测试 — 绕组电流为  $1.77 A_{PEAK}$  时的电路板热像

表 7. 负载测试结果（输入电压为 24V，绕组电流为  $1.77 A_{PEAK}$ ）

直流电流 (A)	峰值绕组电流 (A)	电机电气频率 (Hz)	机械速度 (RPM)	DRV10983 的顶部外壳温度 (°C)
0.729	1.77	109	3270	77.9

图 40 所示为驱动主泵时，该器件上的最高温度随峰值绕组电流的变化情况。

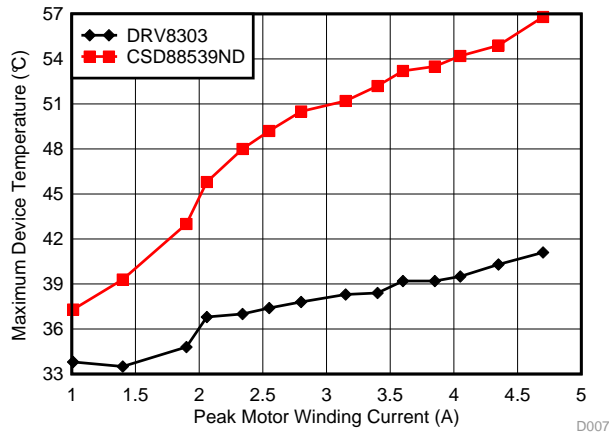


图 40. 峰值绕组电流与 DRV10983 和 CSD88539ND 上测得最高温度间的关系

图 41 所示为驱动次级泵时，DRV10983 上的最高温度随峰值绕组电流的变化情况。

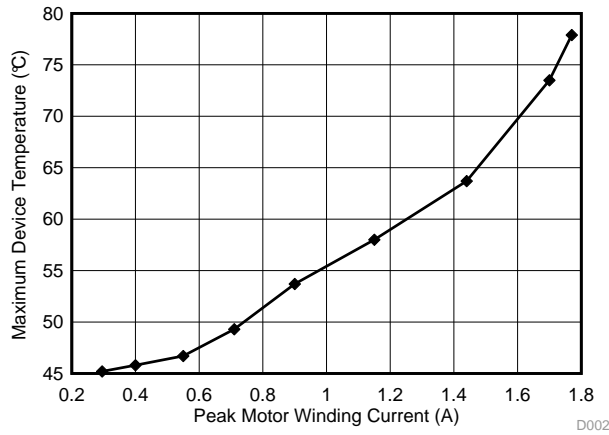


图 41. 峰值绕组电流与 DRV10983 上测得最高温度间的关系

表 8 以表格形式列出了由 DRV8303 和 CSD88539ND 驱动的主泵负载测试结果。表 9 以表格形式列出了由 DRV10983 驱动的次级泵负载测试结果。

表 8. DRV8303 和 CSD88539ND 在 24V 直流输入电压下的负载测试

直流电流 (A)	峰值绕组电流 (A)	电机电气频率 (Hz)	机械速度 (RPM)	DRV8303 的顶部外壳温度 (°C)	CSD88539ND 的顶部外壳温度 (°C)
0.44	1.01	82.24	2467	33.8	37.3
0.82	1.40	103.00	3090	33.5	39.3
1.36	1.90	122.00	3660	34.8	43.0
1.64	2.06	129.50	3885	36.8	45.8
1.88	2.34	137.40	4122	37.0	48.0
2.16	2.55	143.70	4311	37.4	49.2
2.40	2.80	151.50	4545	37.8	50.5
2.68	3.15	158.20	4746	38.3	51.2
3.00	3.40	165.60	4968	38.4	52.2
3.30	3.60	171.20	5136	39.2	53.2
3.40	3.85	177.30	5319	39.2	53.5
3.50	4.05	182.50	5475	39.5	54.2
3.70	4.35	188.00	5640	40.3	54.9
4.00	4.70	175.00	5250	41.1	56.8

表 9. 输入电压为 24V 时的 DRV10983 负载测试

直流电流 (A)	峰值绕组电流 (A)	电机电气频率 (Hz)	机械转速 (RPM)	DRV10983 的顶部外壳温度 (°C)
0.152	0.295	33	990	45.2
0.164	0.400	46	1380	45.8
0.200	0.550	57	1710	46.7
0.243	0.710	70	2100	49.3
0.325	0.900	82	2460	53.7
0.428	1.150	91	2730	58.0
0.553	1.440	100	3000	63.7
0.729	1.700	109	3270	73.5
0.800	1.770	112	3360	77.9

### 8.3 过流保护测试

DRV8303 使用 MOSFET  $V_{DS}$  感测实现过流保护。使用简易泵测试设备测试带载电机的过流状态。过流保护功能可在不同设置下进行测试和监控。

检测过流现象的过程中，DRV8303 将  $\overline{OCTW}$  引脚拉至低电平（此时  $OCTW\_SET == 0x0$ 、 $0x02$  或  $0x03$ ）。如果 DRV8303 在过流事件期间设置为锁存模式 ( $OC\_MODE == 0x01$ )，所有栅极驱动输出将在 DRV8303 复位前禁用。在限流模式下，DRV8303 将在发生下一次 PWM 翻转或在  $64\mu s$  内释放处于低电平状态的引脚。

MOSFET 的导通状态  $V_{DS}$  可通过将漏极电流与 MOSFET 导通状态电阻 ( $R_{DS(ON)}$ ) 相乘来计算。MOSFET 的  $R_{DS(ON)}$  在数据表中给定。当 CSD88539ND  $V_{DS} = 10V$  时， $R_{DS(ON)}$  为  $23m\Omega$ （典型值）。

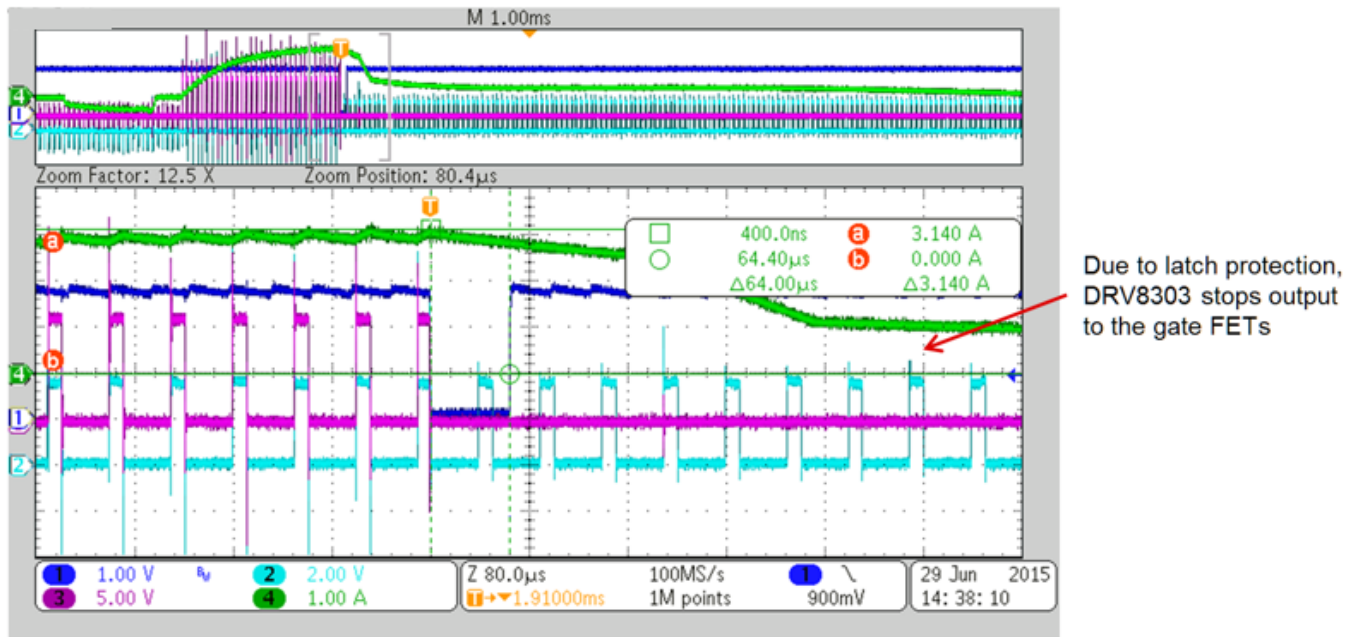


图 42. DRV8303 在锁存模式下的过流保护响应

通道 1:  $\overline{nOCTW}$ ; 通道 2: MSP430 的 PWM 输出; 通道 3: DRV8303 的栅极驱动信号; 通道 4: A 绕组电流。

为了进行测试， $V_{DS}$  感测阈值设置为  $0.086V$  ( $OC\_ADJ\_SET = 0x03$ )。数据表指定的 MOSFET  $R_{DS(ON)}$  为  $23m\Omega$ （温度为  $25^\circ C$ ）。 $R_{DS(ON)}$  的最大值为  $28m\Omega$ 。MOSFET 的温度将导致  $R_{DS(ON)}$  升高。 $28m\Omega$   $R_{DS(ON)}$  对应于  $3.07A$  ( $0.086 / 0.028 = 3.07$ ) 过流限值。示波器上监测到的信号包括：DRV8303 传输的  $\overline{OCTW}$ 、DRV8303 的高侧栅极输出信号以及 MOSFET 电流。

## 9 设计文件

### 9.1 电路原理图

要下载原理图，请参见 [TIDA-00447](#) 的设计文件。

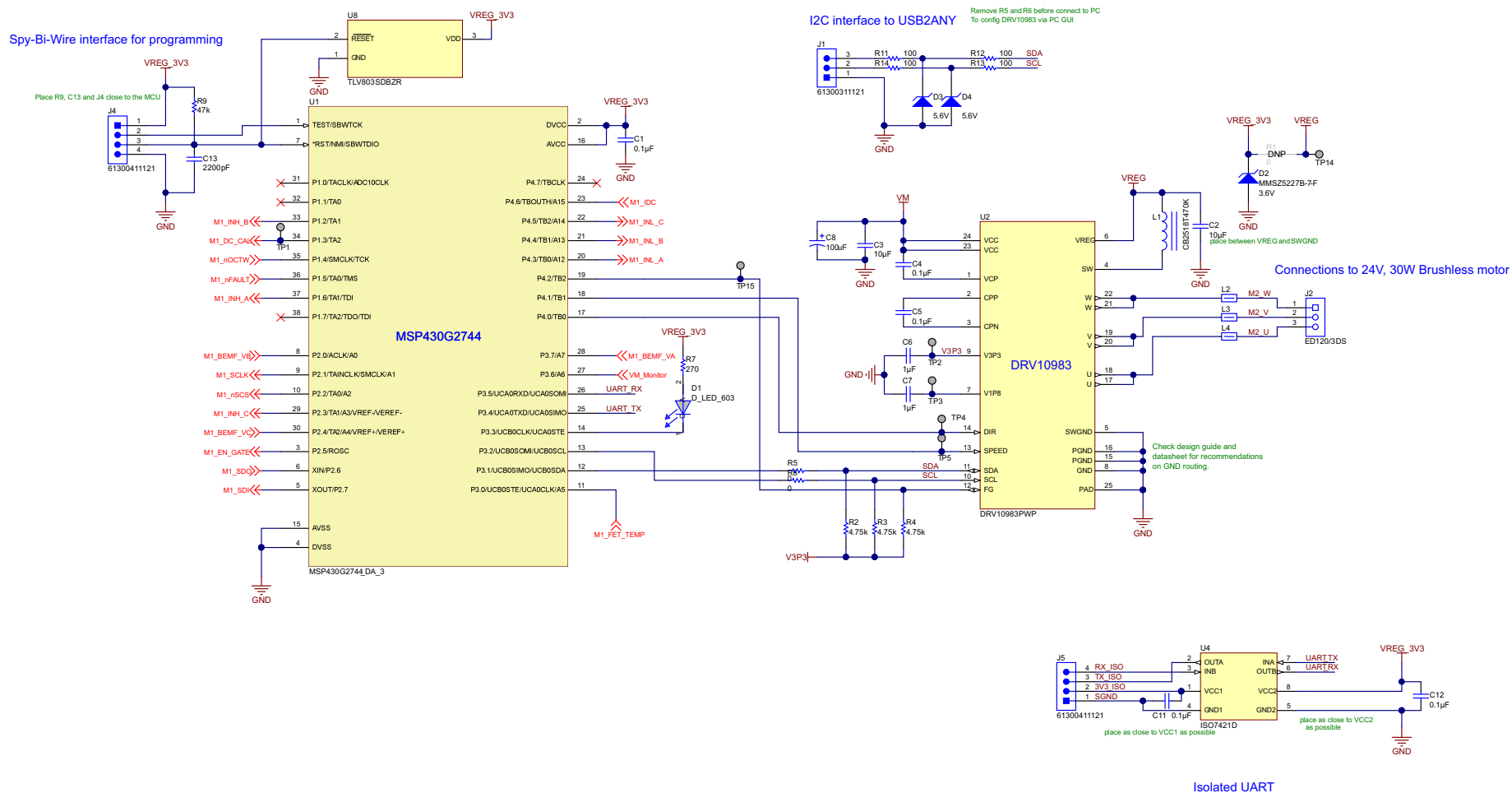


图 43. MCU 和 DRV10983 电路原理图



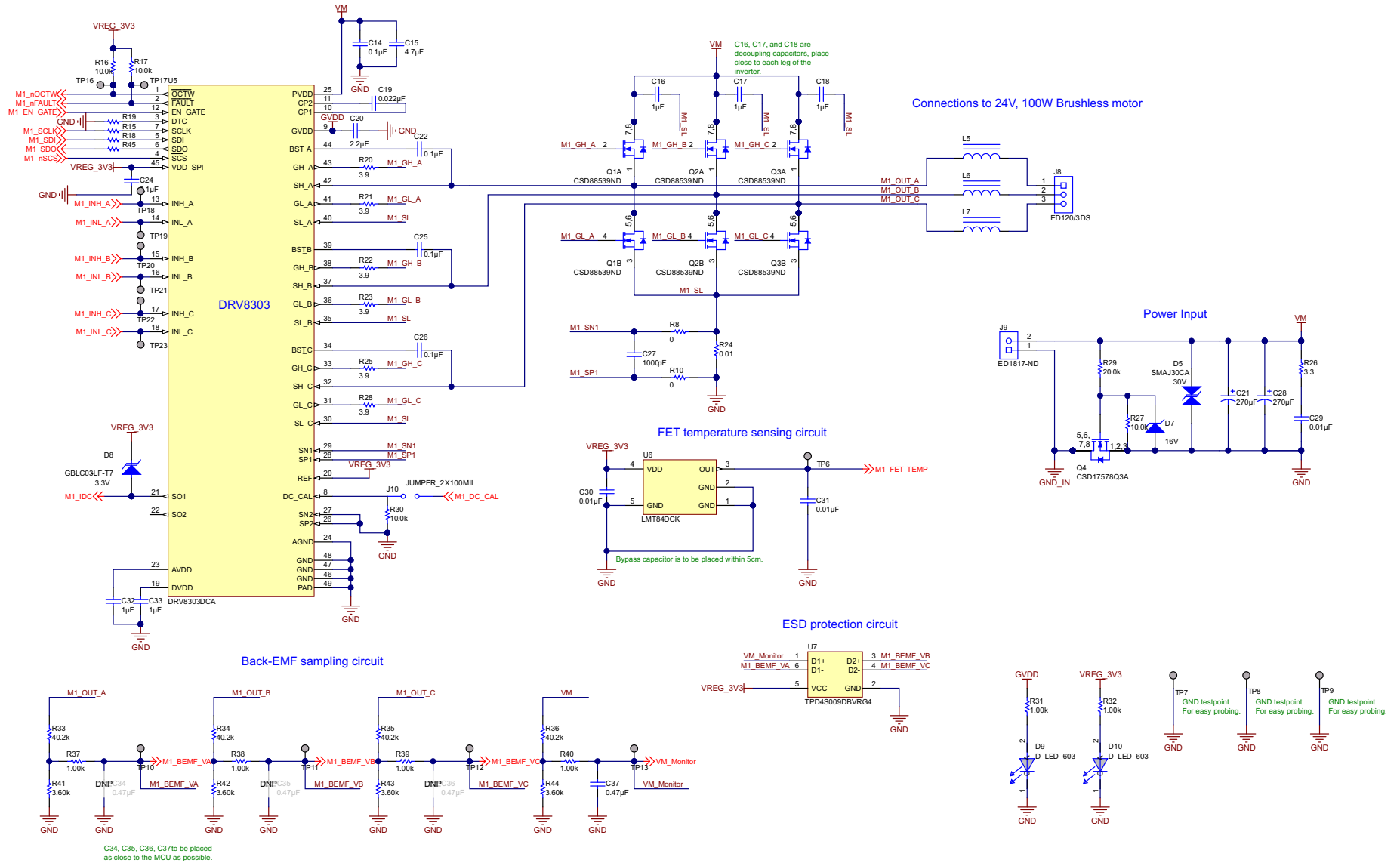


图 44. DRV8303 电路原理图

## 9.2 物料清单

要下载物料清单 (BOM)，请参见 [TIDA-00447](#) 的设计文件。

## 9.3 PCB 布局建议

### DRV10983 的 PCB 布局建议

PCB 布局设计和 PCB 装配过程中需要考虑以下事项：

1. DRV10983 采用带有外露散热焊盘的 24 引脚高效散热薄型小外形尺寸封装 (HTSSOP)。为了实现散热条件，确保在焊接或装配过程中将 DRV10983 的散热焊盘与 PCB 正确相连。
2. PCB 顶部和底部均要尽量预留较大的散热焊盘连接区域。该区域应为一块不含任何开口或间隙的铜。
3. 去耦电容 C3、C6、C7 应放置于紧靠各自对应引脚的位置并经由一条低阻抗路径连接器件的 GND。
4. 电荷泵电容 C4 和 C5 应放置于紧靠各自对应引脚的位置
5. 同时将大容量电容 (C8) 应用于器件电源 (VCC) 以提供电流纹波。
6. 应用 L2、L3 及 L4 提升 EMI 性能并改善硬件过流检测。但这些并非必须使用的器件。

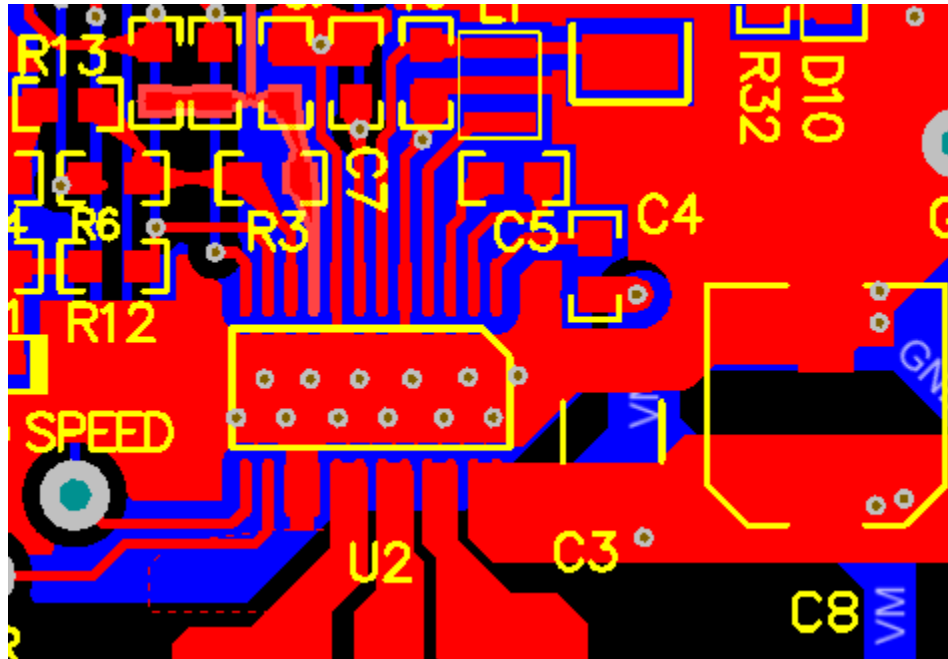


图 45. DRV10983 布局注意事项

### DRV8303 和 CSD88539ND 的 PCB 布局建议

PCB 布局设计和 PCB 装配过程中需要考虑以下事项:

1. DRV8303 通过 PowerPAD 与 GND 建立电气连接。始终检查是否正确焊接 PowerPAD (请参见 PowerPAD 应用报告 [SLMA002])。
2. PVDD 去耦电容 C14 和 C15 应放置于紧靠各自对应引脚的位置并经由一条低阻抗路径连接器件的 GND (PowerPAD)。
3. GVDD 电容 C20 应放置于紧靠其对应引脚的位置并经由一条低阻抗路径连接器件的 GND (PowerPAD)。在本参考设计与 TIDA-00285 中, 该电容在器件之下连接, 以节省空间。
4. AVDD 和 DVDD 电容 C32 和 C33 应放置于紧靠各自对应引脚的位置并经由一条低阻抗路径与 AGND 引脚相连。建议在同一层进行连接。
5. 将 AGND 经由一条低阻抗走线/低阻抗填孔与器件的 GND (PowerPAD) 相连。
6. 添加缝合过孔以降低 GND 路径顶部至底部的阻抗。在装配器件的过程中应扩大过孔, 避免因焊膏而导致 PowerPAD 和其他引脚间发生意外短路。有关 DRV8303 的布局设计的详细指导, 请参见《TIDA-00285 设计指南》。

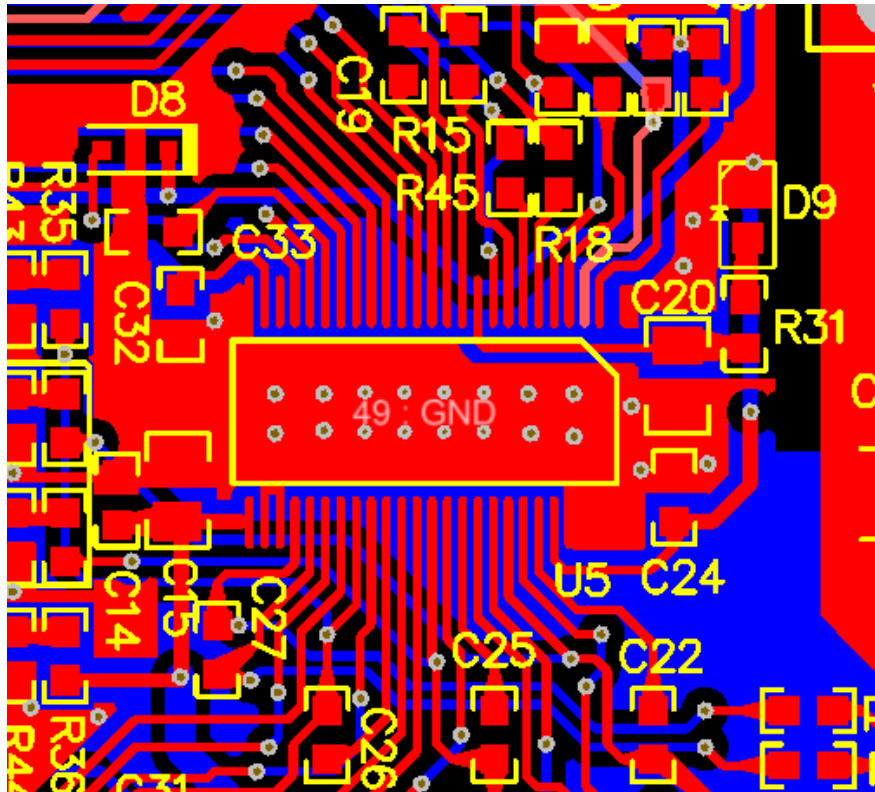


图 46. DRV8303 布局注意事项

7. 最大程度确保电机电流路径的宽度，同时底层配有充足的缝合过孔，从而协助 CSD88539ND 散热。
8. 由于电流将流经 CSD88539ND 的引脚 1（电源引脚），因此在 CSD88539ND 的引脚 1 与引脚 5 或 6 之间创建一条较宽的路径。
9. 将去耦电容 C16、C17 和 C18 放置于紧靠器件的位置并经由一条较短的返回路径返回连接电路的低侧电源。
10. 加强低侧电源（引脚 3）的连接。本参考设计中 CSD88539ND 的引脚 3 通过五个缝合过孔与底层较大的平面相连。

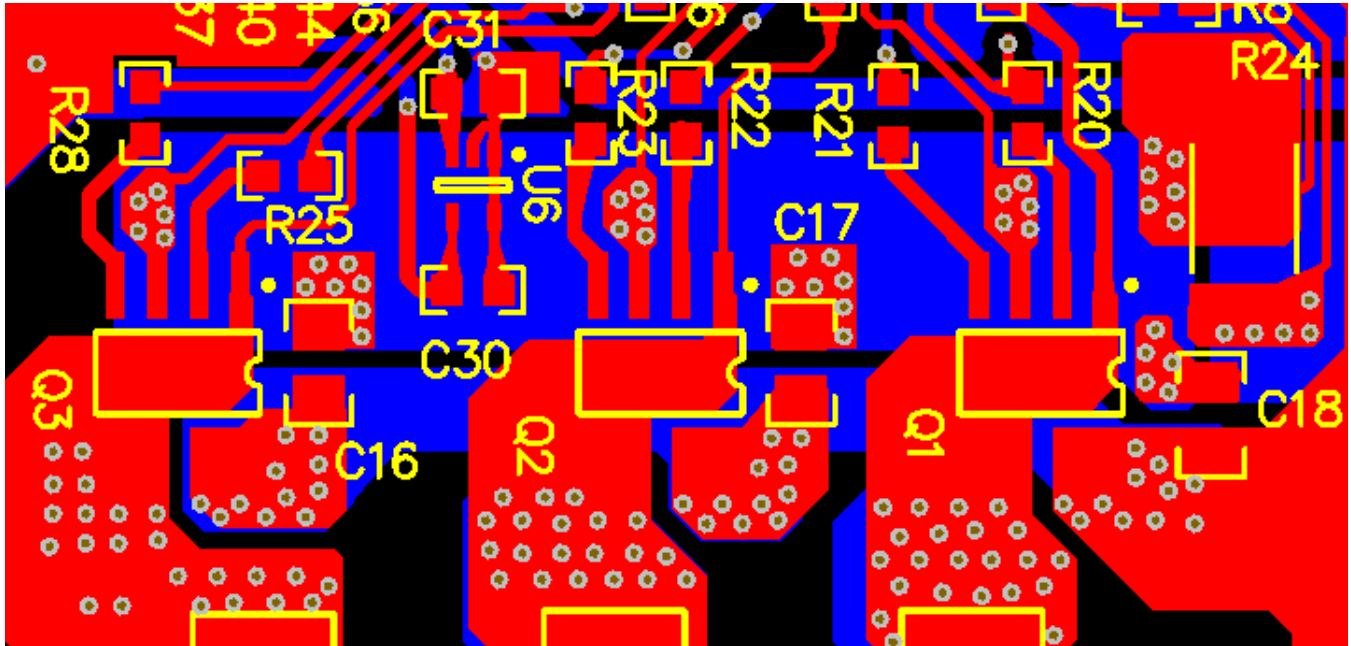


图 47. CSD88539ND 布局注意事项

### 9.3.1 布局图

要下载板层图，请参见 [TIDA-00447](#) 的设计文件。

### 9.4 Altium 项目

要下载 Altium 项目文件，请参见 [TIDA-00447](#) 的设计文件。

### 9.5 光绘文件

要下载光绘文件，请参见 [TIDA-00447](#) 的设计文件。

### 9.6 装配图

要下载装配图，请参见 [TIDA-00447](#) 的设计文件。

## 10 参考文献

1. 德州仪器 (TI) DRV8303 数据表 《具有双路分流放大器的三相前置驱动器》 (文献编号: [SLOS846](#))
2. 德州仪器 (TI) DRV10983 数据表 《DRV10983 12V 至 24V 三相无传感器 BLDC 电机驱动器》 (文献编号: [SLVSCP6](#))
3. 德州仪器 (TI) CSD88539ND 数据表 《CSD88539ND 双路 60V N 沟道 NexFET™ 功率 MOSFET》 (文献编号: [SLPS456](#))
4. 德州仪器 (TI) TLV803S 数据表 《具有低电平有效和开漏复位功能的 3 引脚电压监控器》 (文献编号: [SBVS157](#))
5. 德州仪器 (TI) LMT84 数据表 《LMT84/LMT84-Q1 具有 AB 类输出的 1.5V SC70/TO-92/TO-126 模拟温度传感器》 (文献编号: [SNIS167](#))
6. 德州仪器 (TI) ISO7241D 数据表 《ISO742x 低功耗双通道数字隔离器》 (文献编号: [SLLS984](#))
7. 德州仪器 (TI) TPD4S009 数据表 《TPD4S009 适用于高速差分接口的 4 通道 ESD 解决方案》 (文献编号: [SLVS817](#))
8. 德州仪器 (TI) TMS320F2803x 应用报告 《BLDC 电机的无传感器梯形控制》 (文献编号: [SPRABQ7](#))
9. 德州仪器 (TI) DRV10983 应用报告 《DRV10983 编程指南》 (文献编号: [SLVUAA5](#))
10. 德州仪器 (TI) MSP430G2744 用户指南 《MSP430x2xx 系列用户指南》 (文献编号: [SLAU144](#))
11. 德州仪器 (TI) MSP430G2744 数据表 《MSP430G2x44 混合信号微控制器》 (文献编号: [SLAS892](#))
12. 德州仪器 (TI) TIDA-00274 设计指南 《无传感器三相 BLDC 驱动》 (文献编号: [TIDU439](#))
13. 德州仪器 (TI) DRV10983 与 DRV10975 用户指南 《DRV10983 与 DRV10975 评估模块》 (文献编号: [SLOU393](#))
14. 德州仪器 (TI) DRV10983 与 DRV10975 用户指南 《DRV10983 与 DRV10975 调试指南》 (文献编号: [SLOU395](#))
15. 德州仪器 (TI) 应用报告 《半导体和 IC 封装热指标》 (文献编号: [SPRA953](#))
16. 德州仪器 (TI) 应用报告 《PCB 设计对于 SIMPLE SWITCHER® 电源模块散热性能的影响》 (文献编号: [SNVA424](#))

## 11 术语

**SPI**— 串行外设接口

**PWM**— 脉宽调制

**BLDC**— 无刷直流电机

**PMSM**— 永磁同步电机

**MCU**— 微控制器

**FET、MOSFET**— 金属氧化物半导体场效应晶体管

**ESD**— 静电放电

**TVS**— 瞬态电压抑制器

**RPM**— 每分钟转速

**RMS**— 均方根

**FOC**— 磁场定向控制

## 12 关于作者

**Ma Lebo (Renton)** 于 2012 年加入 TI 旗下的上海 MCU SAE 团队，始终致力于 Hercules 和 C2000 系列的研发与创新。Renton 曾在瑞萨电子 (Renesas Electronics) 担任现场应用工程师，此后在汽车市场领域从事车身应用 技术营销工作长达 7 年。加入 MCU SAE 团队后，Renton 设计了汽车应用和住宅空调系统建模工具的固件和内核逻辑。此外，他还领导了 SAE 团队多个项目的固件架构设计和过程管理。Renton 毕业于大连理工大学，拥有电子工程和英语双学士学位。

---

**修订版本 B 历史记录**

注：之前版本的页码可能与当前版本有所不同。

---

**Changes from A Revision (September 2015) to B Revision** **Page**

---

**修订版本 A 历史记录**

---

**Changes from Original (June 2015) to A Revision** **Page**

---

- 已更改 标题 ..... 1
  - 已更改 自预览页面 ..... 1
-

## 关于 TI 参考设计的重要声明

德州仪器 (“TI”) 公司的参考设计仅供协助设计人员 (“设计人员”) 开发包含 TI 产品的系统。TI 未执行任何测试, 在已发布的文档中针对特定参考设计所专门描述的测试除外。

TI 提供参考设计以及任何其他技术、应用或设计建议、质量特性、可靠性数据或其他信息或服务并不会扩展或更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明, TI 提供此类参考设计或其他信息, 也不会产生任何额外的义务或责任。

TI 保留对其参考设计或其他信息进行更正、增强、改进以及其他更改的权利。

设计人员理解并同意, 设计人员仍要对设计其系统和产品时运用的独立分析、评估和判断负责, 同时全权负责保证其产品的安全性以及其产品 (以及用于设计人员此类产品的所有 TI 产品) 符合适用的所有法律法规以及适用的其他要求。设计人员表示, 对于其应用, 已具备创建或实施相关防护措施所需的所有专业知识, 能够 (1) 预料故障引发的危险后果; (2) 监视故障及其后果; (3) 降低可能引发危害的故障的几率并采用适当的措施。设计人员同意, 在使用或分发包含 TI 产品的任何系统之前, 设计人员应对此类系统进行全面测试, 并按此类 TI 产品在此类系统中的预期用途对 TI 产品的功能进行全面测试。设计人员不可将任何 TI 产品用于关乎性命的医疗设备, 除非已由各方获得授权的管理人员签署专门的合同对此类应用专门作出规定。关乎性命的医疗设备是指出现故障会导致严重身体伤害或死亡的医疗设备 (例如生命保障设备、心脏起搏器、心脏除颤器、人工心脏泵、神经刺激器以及植入设备)。此类设备包括但不限于, 美国食品药品监督管理局认定为 III 类设备的设备, 以及在美国以外的其他国家或地区认定为同等类别设备的所有医疗设备。

设计人员仅在开发包含 TI 参考设计中确定的 TI 产品的最终产品时, 才有权使用、复制及修改独立的 TI 参考设计。然而, 不会明示或暗示地以禁止反言或其他任何方式授予其他任何 TI 知识产权的许可, 也不会授予 TI 或其他任何第三方的任何技术或知识产权的许可, 包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权或与使用 TI 产品或服务的任何组合设备、机器或流程相关的其他知识产权。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息不能构成使用此类产品或服务的许可或与其相关的保证或认可。使用参考设计或前述的其他信息可能需要获得第三方专利权或其他知识产权的许可, 或 TI 的专利权或 TI 其他知识产权的许可。

TI 参考设计及其他前述信息均按“原样”提供, 并且可能包含错误。对于参考设计或参考设计的使用, TI 拒绝作出任何明示或暗示的担保或保证, 包括但不限于对准确性或完整性、所有权、任何常见故障担保以及试销性的任何暗示担保、对特定用途的适用性以及不侵犯任何第三方的知识产权进行保证。

对于任何索赔, 包括但不限于任何关于 TI 参考设计中所述产品的任何组合或基于此组合的侵权索赔, TI 不应承担任何责任, 也不应为设计人员提供辩护或赔偿。对于与参考设计或使用参考设计相关或由参考设计或使用参考设计而造成的任何实际、直接、特殊、附带、间接、惩罚性、偶发、从属或惩戒性损害, 不管 TI 是否获悉可能会产生上述损害, TI 概不负责。

TI 半导体产品标准销售条款 (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>) 适用于封装的集成电路产品的销售。其他条款可能适用于其他类型 TI 产品及服务的使用或销售。

对于因设计人员不遵从本声明所述条款和内容导致的任何损害、成本、损失和/或债务, 设计人员应承担全部责任, TI 及其代表不承担任何责任。

邮寄地址: 上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼, 邮政编码: 200122  
Copyright © 2016 德州仪器半导体技术 (上海) 有限公司



## 重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或间接版权限作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独自负责满足与其产品及其应用中使用 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独自负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

	产品		应用
数字音频	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">www.ti.com.cn/audio</a>	通信与电信	<a href="http://www.ti.com.cn/telecom">www.ti.com.cn/telecom</a>
放大器和线性器件	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">www.ti.com.cn/amplifiers</a>	计算机及周边	<a href="http://www.ti.com.cn/computer">www.ti.com.cn/computer</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">www.ti.com.cn/dataconverters</a>	消费电子	<a href="http://www.ti.com.cn/consumer-apps">www.ti.com.cn/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	能源	<a href="http://www.ti.com.cn/energy">www.ti.com.cn/energy</a>
DSP - 数字信号处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">www.ti.com.cn/dsp</a>	工业应用	<a href="http://www.ti.com.cn/industrial">www.ti.com.cn/industrial</a>
时钟和计时器	<a href="http://www.ti.com.cn/clockandtimers">www.ti.com.cn/clockandtimers</a>	医疗电子	<a href="http://www.ti.com.cn/medical">www.ti.com.cn/medical</a>
接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">www.ti.com.cn/interface</a>	安防应用	<a href="http://www.ti.com.cn/security">www.ti.com.cn/security</a>
逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">www.ti.com.cn/logic</a>	汽车电子	<a href="http://www.ti.com.cn/automotive">www.ti.com.cn/automotive</a>
电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">www.ti.com.cn/power</a>	视频和影像	<a href="http://www.ti.com.cn/video">www.ti.com.cn/video</a>
微控制器 (MCU)	<a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">www.ti.com.cn/microcontrollers</a>		
RFID 系统	<a href="http://www.ti.com.cn/rfidsys">www.ti.com.cn/rfidsys</a>		
OMAP应用处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/omap">www.ti.com.cn/omap</a>		
无线连通性	<a href="http://www.ti.com.cn/wirelessconnectivity">www.ti.com.cn/wirelessconnectivity</a>	德州仪器在线技术支持社区	<a href="http://www.deyisupport.com">www.deyisupport.com</a>

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated