

Design Guide: TIDA-010951

具有 85V 至 265V 交流电压、0.92 功率因数和单级 PFC 的 24V、35W 无传感器 FOC BLDC 参考设计

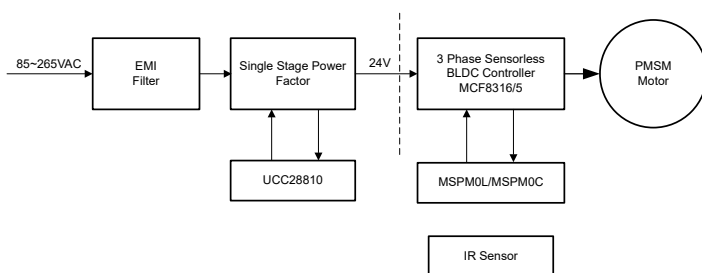


说明

为了提高能效，吊扇和通风扇正逐步从使用简单交流感应电机转为使用无刷直流 (BLDC) 电机。此参考设计使用通用主电源输入 (85V 至 265V 交流电压)，并使用单级功率因数校正 (PFC) 隔离型反激式转换器来转换离线电压，可在 24V 直流电压条件下实现高达 0.92 的功率因数 (PF)，从而满足实现更高效率和功率因数的要求。此设计还整合了完全集成且保护良好的单芯片，用于无传感器磁场定向控制 (FOC) 无刷电机控制。

资源

TIDA-010951	设计文件夹
MCF8315C	产品文件夹
MCF8316A	产品文件夹
MSPM0L1105	产品文件夹
MSPM0C1104	产品文件夹
UCC28810	产品文件夹

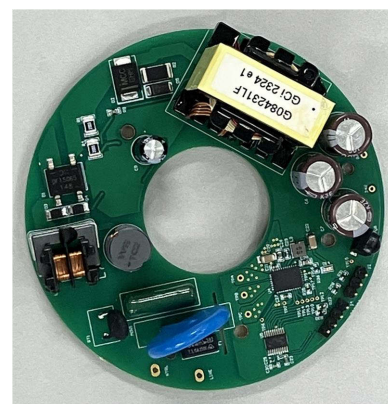


特性

- 24V、35W 无传感器 FOC 能够驱动 BLDC 电机。
- 高度集成且受良好保护的单芯片无刷 FOC 电机控制器可减少外部器件数量并降低可闻噪声。
- 集成 FOC 算法可提供风车功能支持、快速且可靠的启动以及安静的运行。
- 闭环速度控制可保持预期电机转速的高精度。
- 受到全面保护的系統可防止出现短路、过流和转子堵转情况。
- 单级 PFC 可实现高输入功率因数 (> 0.92)，支持通用输入 (85V 至 265V 交流电压)，且效率变化极小。
- 成本优化型 MCU (MSPM0C 或 MSPM0L) 提供高性能模拟外设集成。
- 优化的小外形尺寸适合进行电机集成。

应用

- 空气净化器和加湿器
- 住宅和生活风扇
- 洗碗机
- 洗衣机和烘干机
- 电器泵和风扇



1 系统说明

在需要大范围速度变化的应用中，BLDC 电机的使用一直在稳步增加。与感应电机相比，BLDC 电机具有更高的效率。对于超低功耗应用，使用低压电机具有多种优势，例如可在通用电压输入条件下运行、可节省电机和无源器件的成本以及可实现紧凑的印刷电路板 (PCB) 设计。此外，高度集成且受保护的低压电机驱动器集成电路 (IC) 使电机更易于控制且更高效。然而，使用低压电机需要高效、低成本交流/直流转换级。TIDA-10951 设计能够以简单高效的方式满足该应用要求。该 PCB 还集成了一个高效且功能丰富的电机控制器级，使客户可以将此平台用于吊扇、排气扇、通风扇、烤箱扇以及其他家用和工业电器中使用的低功耗 BLDC 驱动器等应用。

如图 1-1 所示，降压功率因数校正 PFC 功率级将 85V 至 265V 交流输入转换为稳压 24V 直流输出。此设计利用 UCC28810 PFC IC 来控制该功率级。功率级产生的 24V 直流电压用于为三相无传感器 FOC BLDC 电机控制器 MCF831x 供电。这样可以驱动电机以控制速度。MCF8315 和 MCF8316 (MCF831x) 控制器还会生成 3.3V 电源为微控制器 (MCU) 供电。MSPM0L 和 MSPM0C MCU 以脉宽调制 (PWM) 信号的形式将速度基准传输到 MCF831x 控制器，从而产生与所需速度成比例的占空比。此 PWM 信号基于从红外 (IR) 传感器接收到的信号，而后者由通用红外遥控进行激活。对于任何给定的远程控制数据格式，定制 MCU 的固件都很容易。

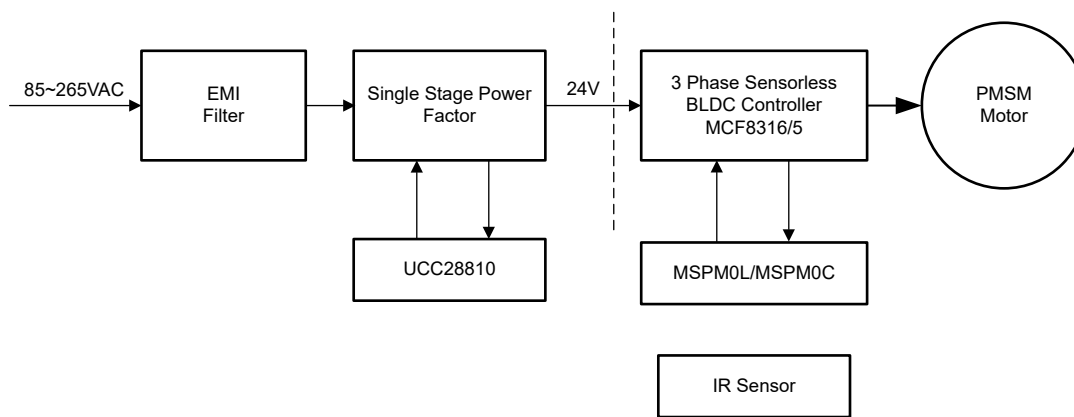


图 1-1. TIDA-010951 方框图

MCF831x 是一款高度集成且受保护的单芯片 FOC 电机控制器，具有集成的无传感器 FOC 算法、栅极驱动器和 FET，能够在不断变化的负载条件下保持风扇转速。MSPM0L 和 MSPM0C 是 TI 高度集成的低成本 Arm® Cortex®-M0+ MCU 产品系列中的通用微控制器，可让此系统接收 IR 信号、控制电机转速和方向以及通过 I2C 获取电机状态。总体设计经过优化，具有高效率和小 PCB 外形尺寸，可轻松装入电机中。

1.1 主要系统规格

参数	值	注释
单相交流输入电压 (RMS)	85V 至 265V, 230V (典型值)	专为 230V RMS、50Hz 单相交流输入系统而设计
24V 时的最大输出功率	50W	
230V 电压、35W 反激式输出功率时的输入电流 THD	< 10%	
功率因数 (230V 电压、35W 反激式输出功率时)	0.95	
输入电流 THD (140V 至 265V 电压、35W 反激式输出功率时)	< 12.5%	满载条件下整个工作输入电压范围内的 THD
功率因数 (140V 至 265V 电压、35W 反激式输出功率时)	> 0.92	满载条件下整个工作输入电压范围内的功率因数
PCB 层堆叠	2 层	
PCB 大小	85mm	
连接主机处理器的非隔离式 MCU (MSPM0L) 接口	3.3V I/O	

警告

TI 建议该参考设计仅在实验室环境中运行，不应将该器件作为成品供一般消费者使用。

TI 建议，该参考设计仅可由熟悉处理高压电子和机械部件、系统及子系统所存在相关风险的合格工程师和技术人员使用。

高电压！ 电路板中存在可接触到的高电压。如电路板的电压和电流处理不当或施加不正确，则可能导致电击、火灾或伤害事故。使用该设备时应特别小心，并采取相应的保护措施，以避免受伤或损坏财产。

表面高温！ 接触会导致烫伤。**请勿触摸！** 电路板上电后，某些元件可能会达到 55°C 以上的高温。由于存在高温，在使用过程中或使用刚结束时，用户不得触摸电路板。

小心

请勿在无人照看的情况下使该设计通电。

2 系统概述

2.1 方框图

图 2-1 展示了 TIDA-010951 设计的系统方框图。

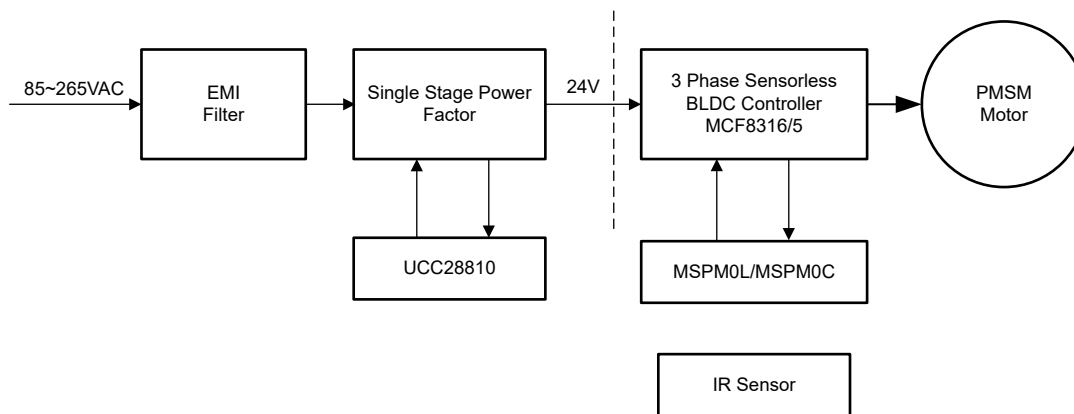


图 2-1. TIDA-010951 方框图

2.2 设计注意事项

该参考设计具有以下子块：

- 85V 至 265V 交流输入和 EMI 滤波器
- 采用 UCC28810 的高性能单级 PFC，为电机控制提供 24V 直流电压
- 使用 MCF831x 进行电机控制的高度集成式 MOSFET 和算法无传感器 BLDC 控制器
- 用于 MCF831x 控制并支持 IR 传感器控制的成本优化型 MCU MSPM0L 和 MSPM0C 器件

2.3 主要产品

2.3.1 UCC28810

UCC28810 是一款通用照明电源控制器，适用于需要功率因数校正和 EMC 合规性的中低功率照明应用。UCC28810 旨在控制在临界导通模式下运行的反激式、降压或升压转换器。UCC28810 具有用于反馈误差处理的跨导电压放大器、用于生成与输入电压成正比的电流命令的简单电流基准发生器、电流检测 (PWM) 比较器、PWM 逻辑以及用于驱动外部 FET 的图腾柱驱动器。

在临界导通模式下运行时，PWM 电路会进行自振荡，其开通操作由变压器零能量检测器 (TZE 引脚) 控制，关断操作由电流检测比较器控制。此外，该控制器还提供峰值电流限制、重启计时器、过压保护 (OVP) 和使能等功能。

2.3.2 MCF8315

MCF8315 属于 TI 的新一代 BLDC 电机驱动器，具有集成的无代码、无传感器 FOC 以及 40V、240mΩ (HS+LS) FET 型三相逆变器功率级，可为家用风扇、电器泵和风扇、座椅冷却风机、投影仪风扇等应用提供紧凑、高效的一体化设计。

主要优势包括：

- 40V 240mΩ (HS+LS) FET 具有集成的栅极驱动器及可配置的压摆率控制功能，可降低 EMI
- 集成的三相电流检测功能可降低 BOM 成本
- 集成的无传感器 FOC 可实现低噪声、高效率的 BLDC 电机运行
- 集成了电源管理功能，包括能够提供高达 170mA 电流的可配置输出电压降压转换器 (3.3V、4V、5V、5.7V)，以及能够提供高达 20mA 电压的 3.3V LDO
- PWM 开关频率、PWM 调制方案和最短导通时间等可配置特性可以提高效率
- TI 特有的特性 (如死区时间补偿、反向驱动、主动减速、直流总线电流限制) 可实现差异化的终端应用性能

- 采用紧凑型 7mm x 5mm 40 引脚 QFN 封装：与 MCF8316 (40V、95mΩ FET) 之间引脚对引脚兼容，适用于更大功率的应用
- 工作结温绝对最大额定值：-40°C 至 150°C

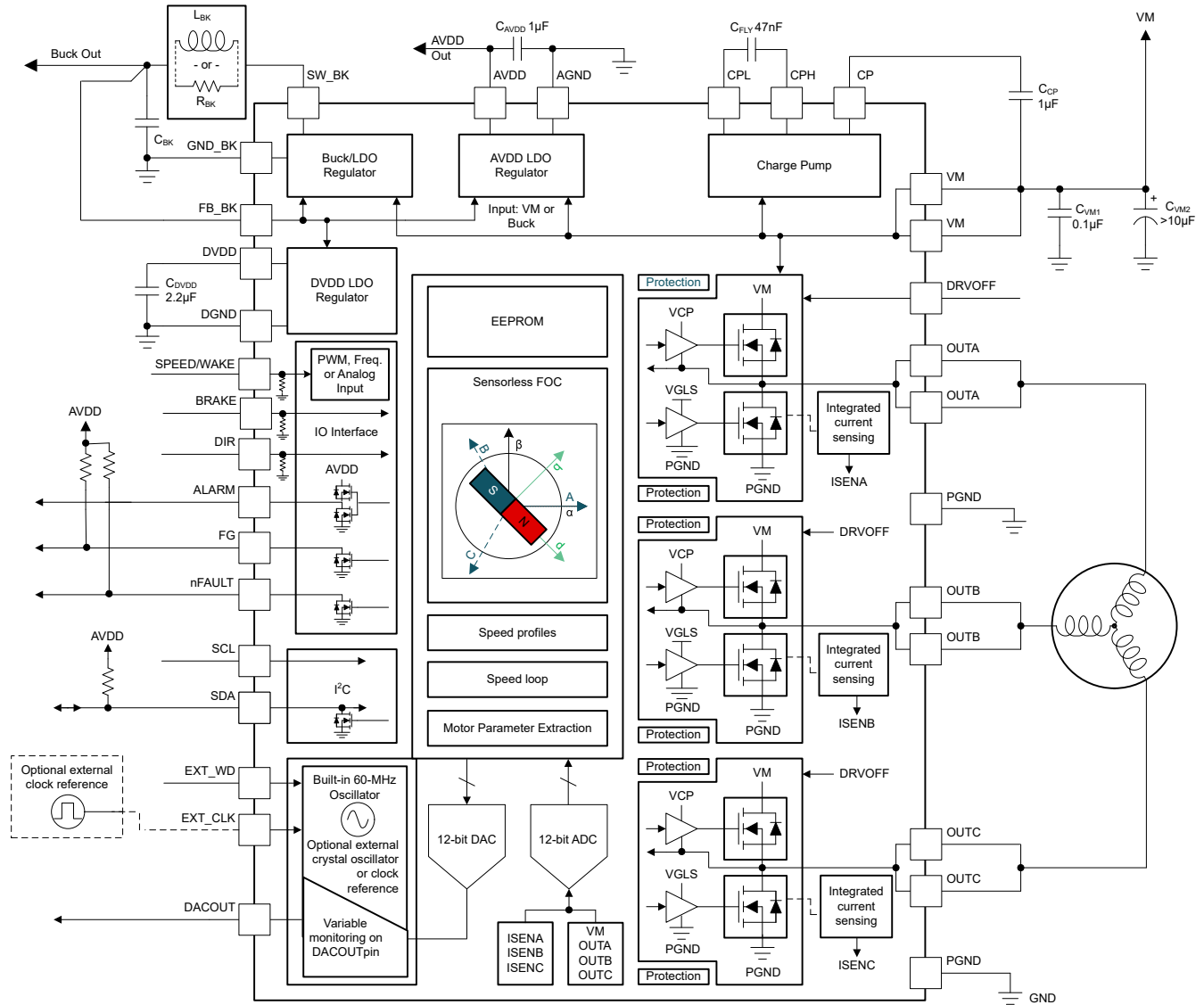


图 2-2. MCF8315C 方框图

2.3.3 MSPM0L

MSPM0L110x (MCU) 属于 MSP 高度集成的超低功耗 32 位 MSPM0 MCU 系列，该 MCU 系列基于增强型 Arm Cortex-M0+ 内核平台，工作频率最高可达 32MHz。这些低成本 MCU 提供高性能模拟外设集成，支持 -40°C 至 105°C 的工作温度范围，并在 1.62V 至 3.6V 的电源电压下运行。

MSPM0L110x 器件提供高达 64KB 的嵌入式闪存程序存储器和 4KB 的 SRAM。这些 MCU 包含精度高达 ±1.2% 的高速片上振荡器，无需外部晶体。其他特性包括 3 通道 DMA、16 位和 32 位 CRC 加速器，以及各种高性能模拟外设，例如一个具有可配置内部电压基准的 12 位 1.68Msps ADC、一个通用放大器和一个片上温度传感器。这些器件还提供智能数字外设，例如四个 16 位通用计时器、一个窗口化看门狗计时器和各种通信外设（包括两个通用异步接收器/发送器 (UART)、一个 SPI 和一个 I2C）。这些通信外设为 LIN、IrDA、DALI、Manchester、Smart Card、SMBus 和 PMBus 提供协议支持。

TI MSPM0 系列低功耗 MCU 包含具有不同模拟和数字集成度的器件，让客户找到满足工程需求的 MCU。此架构结合了多种低功耗模式，并经过优化，可在便携式测量应用中延长电池寿命。

2.3.4 MSPM0C

MSPM0C110x MCU 属于 MSP 高度集成的超低功耗 32 位 MCU 系列，该 MCU 系列基于增强型 Arm Cortex-M0+ 内核平台，工作频率最高可达 24MHz。这些低成本 MCU 提供高性能模拟外设集成，支持 -40°C 至 125°C 的工作温度范围，并在 1.62V 至 3.6V 的电源电压下运行。

MSPM0C110x 器件提供高达 16KB 的嵌入式闪存程序存储器和 1KB 的 SRAM。这些 MCU 包含精度为 -2% 至 +1.2% 的高速片上振荡器，无需外部晶体。其他特性包括单通道 DMA、CRC-16 加速器和各种高性能模拟外设（例如一个以 VDD 作为电压基准的 12 位 1.5Msps ADC 和片上温度传感器）。这些器件还提供智能数字外设，例如一个 16 位高级计时器、两个 16 位通用计时器、一个窗口化看门狗计时器和各种通信外设（包括一个 UART、一个 SPI 和一个 I2C）。这些通信外设为 LIN、IrDA、DALI、Manchester、Smart Card、SMBus 和 PMBus 提供协议支持。

TI MSPM0 系列低功耗 MCU 包含具有不同模拟和数字集成度的器件，可让客户找到满足工程需求的 MCU。此架构结合了多种低功耗模式，并经过优化，可在便携式测量应用中延长电池寿命。

3 系统设计原理

3.1 MCF8315 设计

MCF8315 是一款 40V、240mΩ、无传感器 FOC BLDC 驱动器，在单个 4.5V 至 35V 直流输入 (VM) 下运行。MCF8315 具有集成的电源管理电路，包括降压转换器 (3.3V、4V、5V、5.7V, 170mA) 和 LDO (3.3V, 20mA)。电机驱动器还有许多 GPIO，用于各种功能，例如速度输入 (SPEED)、电机转速输出 (FG)、故障指示器 (nFAULT)、方向控制 (DIR)、DAC 输出 (DACOUT1 和 2)、I2C 通信 (SCL、SDA) 等。

3.1.1 电源部分

MCF831x 的电源部分需要以下无源器件才能正常运行，如图 3-1 所示。

- VM**：大容量电容器 ($\geq 10\mu\text{F}$ 、 $2 \times \text{VM}$)，可根据 PWM 开关频率、峰值相电流等减少输入电压纹波。此外，如果需要，可以选择添加一个 100nf、 $2 \times \text{VM}$ 电容器来滤除 VM 上的高频噪声。
- 电荷泵**：MCF831x 使用集成电荷泵为高侧 FET 产生栅极驱动。电荷泵需要两个电容器，一个电容器的额定值为 (47nF 、 $2 \times \text{VM}$)，位于 CPH 和 CPL 引脚之间，另一个电容器的额定值为 ($1\mu\text{F}$ 、 $\geq 16\text{V}$)，位于 CP 和 VM 之间。
- 降压转换器**：降压转换器可在电感器模式 (效率和成本更高) 或电阻器模式 (效率和成本更低) 下运行。在 TIDA-010951 中，降压转换器设计为在电感器模式下运行，可为外部负载提供高达 170mA 的电流。电感器的额定值为 $47\mu\text{H}$ ，饱和电流为 1.5A，电容器的额定值为 $22\mu\text{F}$ 、10V。有关电阻器模式的更多信息，请参阅 [MCF8315 数据表](#)。
- AVDD**：此 3.3V LDO 需要一个额定值为 $1\mu\text{F}$ 、10V 的去耦电容器，可为外部负载提供高达 20mA 的电流。在额定 3.3V 调节电压的工作条件下，AVDD 的最小电容大于 600nF。
- DVDD**：此 1.5V LDO 需要一个额定值为 $1\mu\text{F}$ 、10V 的去耦电容器。在额定 1.5V 调节电压的工作条件下，DVDD 的最小电容大于 600nF。

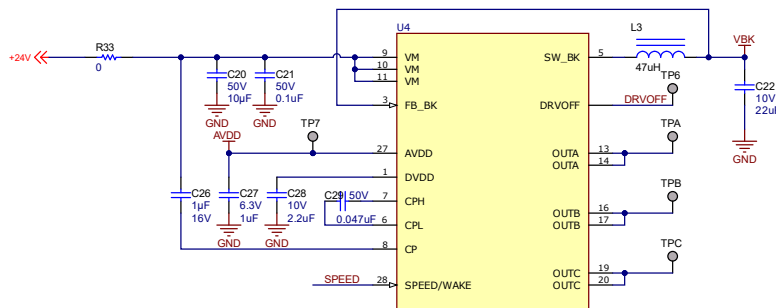


图 3-1. MCF831x 电源部分

3.1.2 GPIO 部分

MCF8315 的 GPIO 连接如图 3-2 所示。

- SPEED** 引脚连接到 MSPM0L1306 以进行速度控制。该引脚也可直接连接到 (0-3)V 输入以使用模拟速度控制模式进行速度控制。
- SCL**、**SDA** 引脚连接到 MSPM0L1306 并使上拉电阻与 AVDD 相连以实现 I2C 通信。
- FG** 引脚连接到 MSPM0L1306 并使外部上拉电阻与 AVDD 相连。FG 表示电机转速。通过 EEPROM 启用内部上拉电阻后，可移除外部上拉电阻。
- DIR** 引脚未被使用，因此连接到 AGND (通过一个可选的下拉电阻)。在这种情况下，可使用 EEPROM 设置旋转方向。
- BRAKE** 引脚连接到 MSPM0L1306 以执行制动操作。这是高电平有效信号，当 BRAKE 引脚设置为高电平时，MCF8315 会将电机减速到用户配置的速度阈值，然后应用低侧制动以快速使电机停止。
- DACOUT1**、**DACOUT2**、**DACOUT2** 和 **SOX** 是连接到测试点的输出引脚，用于监测信号。
- EXT_WD**、**EXT_CLK** 引脚未被使用，因此保持悬空。EXT_WD、EXT_CLK 在未被使用时也可以直接连接到 AGND。

8. **nFAULT** 引脚连接到 MSPM0L1306。这是低电平有效的开漏故障指示器输出，需要通过 EEPROM 启用连接到 AVDD 的内部上拉电阻以进行故障指示。
9. **DRVOFF** 引脚是连接到 MSPM0L1306 的高电平有效输入信号，可用于立即断开电机的电源。
10. **ALARM** 引脚未被使用，因此保持悬空。
11. **NC** 引脚随散热焊盘以及所有其他接地引脚 (DGND、GND_BK、PGND、AGND) 一起连接到 AGND 以获得更好的热性能。

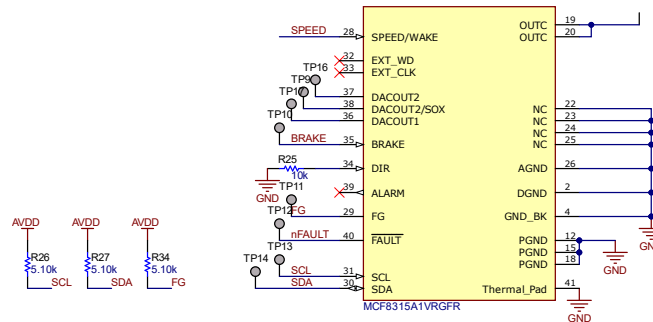


图 3-2. MCF831x GPIO 部分

3.2 交流/直流设计：单级 PFC

这款单级功率因数校正转换器采用隔离型反激式交流/直流拓扑，可使用输入正弦电流将交流输入线路整流为直流输出。单级反激式拓扑广泛用作隔离式 LED 驱动器设计。有些应用需要 PFC 和反激式交流/直流电源，以便在不使用大尺寸 450V 直流大容量电容器的情况下，实现高功率因数以及低元件数、高可靠性和低成本。

电路基本原理如下：

在输入侧，放置一个 3.15A 保险丝以提供过流保护，放置一个 MOV 以提供过压保护，放置一个 NTC 以抑制启动浪涌电流。L1、L2、C3、C1 是输入 EMI 滤波器，D1 是桥式整流器。D2、D3、R1、R2 和 R3 形成一个输入电压检测电路，R4、R5、C10 和 D13 形成一个高压启动电路，并通过 R13、R14 分压进入 VSENSE。Q1 是主电源开关，R16、D14、R17 帮助控制开关速度。在源极上串联的 R23 是初级电流检测电阻，T1 偏置绕组还提供变压器零能量 (TZE) 检测信号 (通过 R21、R20、C12 传输到 U1 的 TZE 引脚)。R11、D10 和 D9 在变压器的初级绕组上并联，并在 Q2 的漏极上形成一个钳位电路。

D6、C5、C6 和 C7 形成一个次级整流器滤波器电路。由 U3 形成的 TL431 电路通过光耦合器将信号反馈回 EAOUT。在此设计中，反馈电压设置为 24.18V。U1 通过 VINS 引脚检测交流输入电压，这样可以强制峰值开关电流跟踪输入电压的变化，从而提高系统功率因数。C16、R18、D11、R20、Q3、R22 和 Q2 用作前沿消隐电路。有关更多信息，请参阅 [LED 照明电源控制器](#) 数据表中有关 TZE 引脚上的前沿消隐电路的部分。

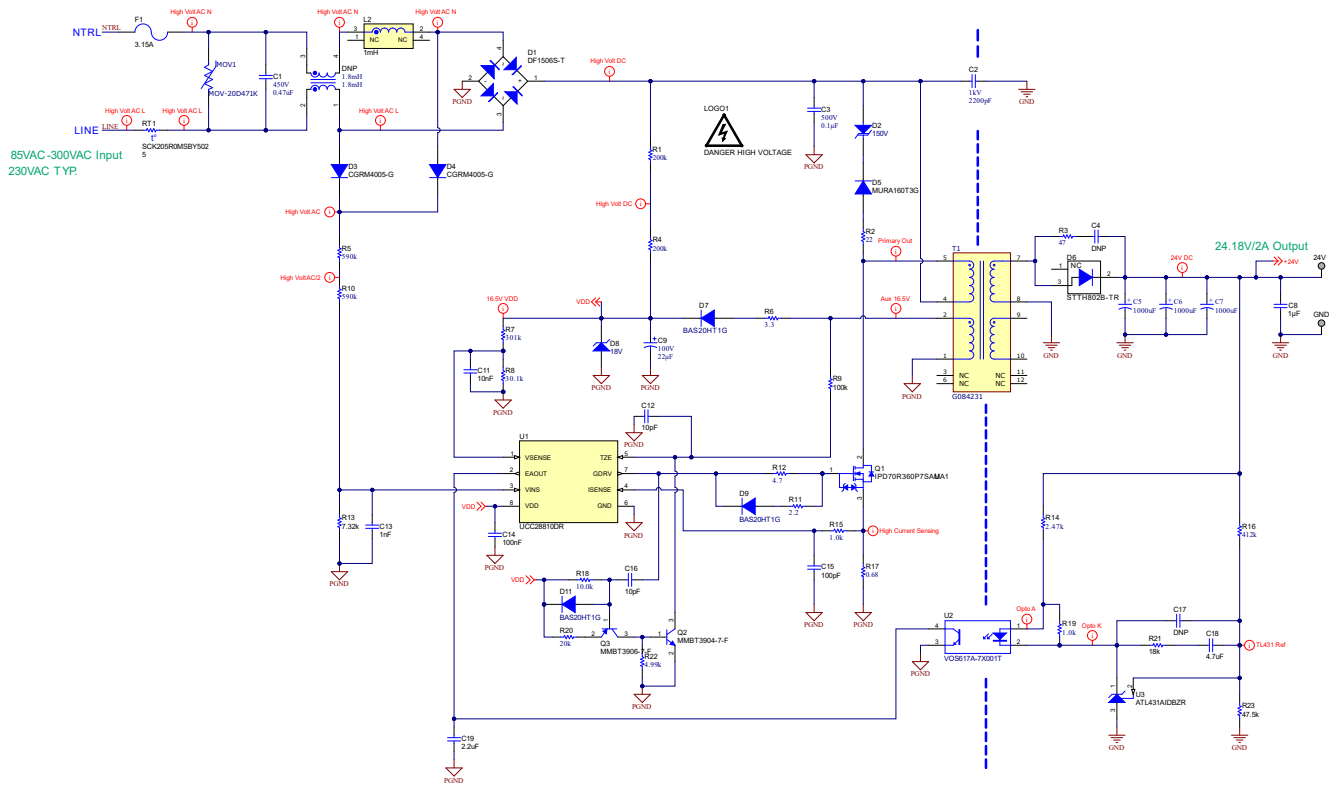


图 3-3. 单级 PFC 设计

3.3 主机 MCU 设计

此 TIDA-010951 设计中采用 20 引脚的 MSPM0L1306。客户可以根据需要使用 MSPM0C110x 和 MSPM0L110x。MSPM0L130x 与 MSPM0L110x (VSSOP) 和 MSPM0C110x (VSSOP) 之间具有引脚对引脚兼容性。MSPM0L1306 是一款具有 64kB 闪存和 4kB RAM 的 32MHz 器件。在此设计中，我们使用 I2C (PA0 和 PA11) 与 MCF831x 器件进行通信，并可以通过 I2C 来配置或控制 MCF831x 器件。BRAKE、FG、SPEEP、DRVOFF 分别是可通过 MCU GPIO 获得或控制的制动、速度反馈、速度输入和驱动关断引脚。IR 接收器输出引脚连接至 PA11，作为 IR 信号的输入引脚。此设计将 PA18 拉至低电平以防止初始上电进入 BSL 模式。同时，此设计还保留 UART 通信 TX、RX (PA22、PA23)。

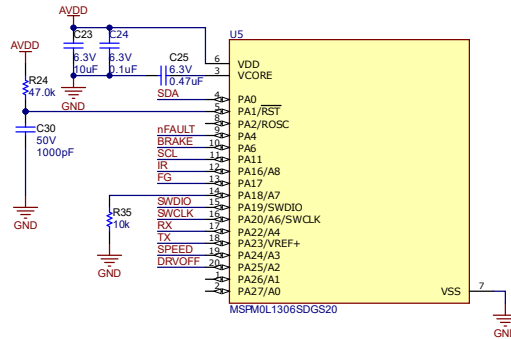


图 3-4. 主机 MCU 设计

4 硬件、软件、测试要求和测试结果

4.1 硬件要求

4.1.1 硬件概述

本部分将详细介绍硬件，并说明电路板上的不同区域，以及如何为本设计指南所述的实验设置这些区域。

4.1.2 TIDA-010951 PCB

TIDA-010951 只需要一个电源输入：一个能够提供高达 50W 功率的单相 85V 至 265V 交流 RMS 电源。此交流电源的输入端子位于图 4-1 右上方的 PCB 顶面（用方框标出）。二极管整流器、反激式变压器和 24V 电源轨总线电容器也位于 PCB 的顶面。BLDC 电机驱动器 MCF8315C 由 24V 电源轨供电，并根据通过 I2C 从 MCU (MSPM0L1306) 接收到的速度命令驱动 BLDC 电机，如图 4-1 所示。接收速度命令的 IR 接收器也位于 PCB 的顶面。此外，两个用于与 MSPM0L1306 通信的连接器（SWD 和 UART）也位于 PCB 的顶面，如图 4-1 所示。

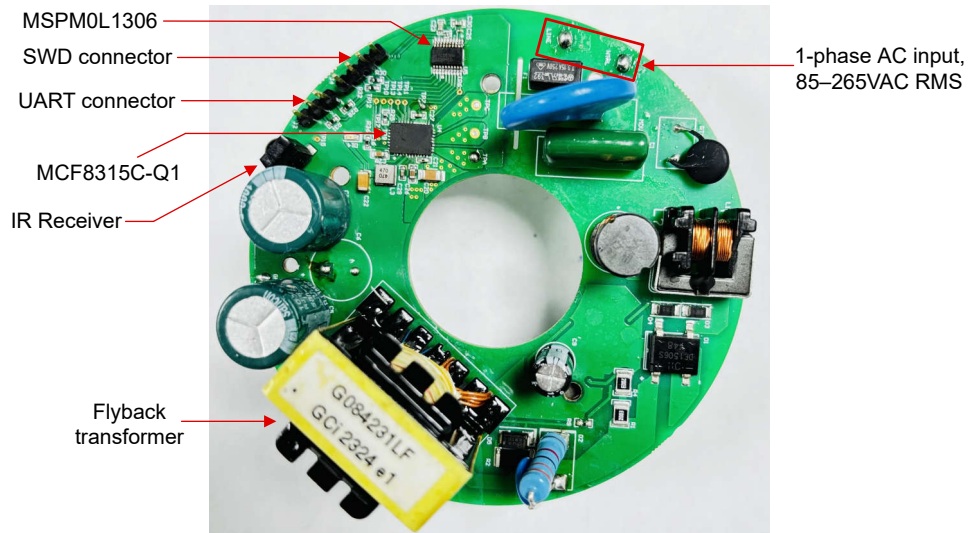


图 4-1. TIDA-010951 PCB 顶视图

PCB 底面展示了反激式转换器元件，包括控制器、UCC28810、初级 MOSFET 和次级二极管。此外，BLDC 电机的三相输出也可在 PCB 的底面找到，如图 4-2 所示。

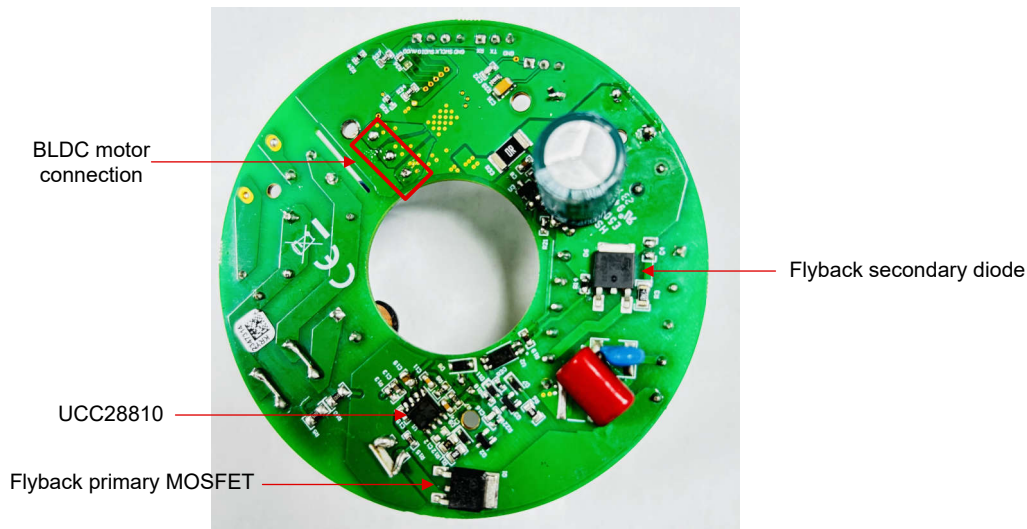


图 4-2. TIDA-010951 PCB 底视图

4.2 软件要求

请联系 TI 销售代表以获取软件文件。

4.3 测试要求

表 4-1 列出了主要测试设备。具体测试的测试设置的相关说明和图片在相应测试结果的部分中提供。

表 4-1. TIDA-010951 测试设备

说明	器件型号
参考设计	TIDA-010951
落地扇	24V, 三相 BLDC 电机, 350rpm
单相交流电源	GW Instek® APS-7100
示波器	Rohde & Schwarz® MXO44
高电压隔离式探针	Agilent® N2790A
低电压非隔离式探针	Tektronix® TPP0101
功率分析仪	Tektronix® PA4000
电流探针	Keysight N2783B
热像仪	Fluke® Ti480

4.4 测试设置

- 熟悉 TIDA-010951 PCB、原理图和板层图。请注意，TIDA-010951 PCB 和相关接口可能会暴露于高电压之下。
- 仅在合适的实验室中测试和验证 TIDA-010951 PCB。在处理 PCB、进行任何电源或信号连接以进行测量等操作之前，确认 TIDA-010951 PCB 已断电并且未连接到任何电源。
- 将 TIDA-010951 放置在带有紧急停止按钮的保护盒中，以便在紧急情况下快速关断输入电源。
- 使用带有适当防护装置的风扇以防护旋转的风扇叶片。
- 使用额定值合适的连接器将单相交流电源输入连接到 TIDA-010951。
- 可通过两种方法实现风扇速度控制：(1) 使用 *模拟* 速度控制模式和 MCF8315C SPEED 引脚的 0V 至 3V 输入，或 (2) 使用 *I2C* 速度控制模式并通过 MSPM0L1306 发送速度命令。
- 也可以使用 IR 接收器并在 MSPM0L1306 上实施正确的 IR 协议来实现通过红外遥控进行速度控制。

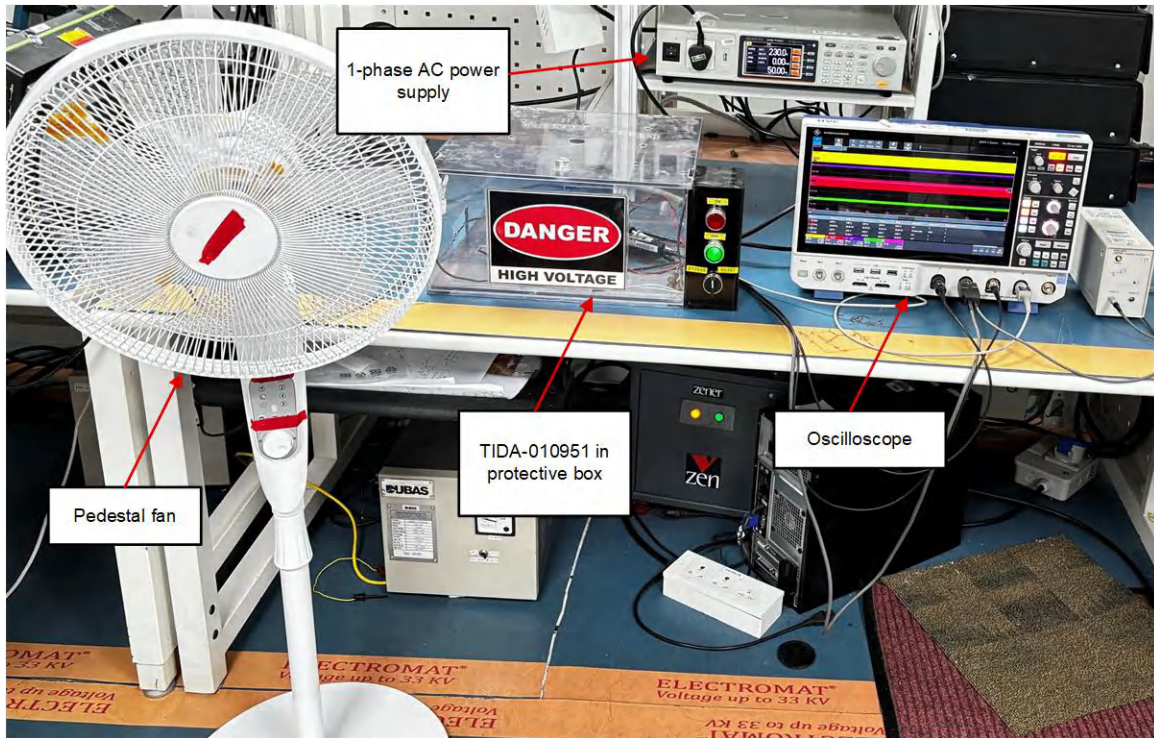


图 4-3. 测试设置

4.5 测试结果

4.5.1 TIDA-010951 中的电源管理

一个单相 230V 交流 RMS 输入连接到参考设计 PCB。TIDA-010951 上基于 UCC28810 的反激式转换器使用整流后的交流电生成隔离式 24V 电源轨，为 BLDC 电机驱动器 MCF8315C-Q1 供电。MCF8315C-Q1 从集成降压转换器生成 5V (VBK) 电压，从集成 LDO 生成 3.3V (AVDD) 电压。AVDD 为 MSPM0L1306 供电。MSPM0L1306 用于通过红外 (IR) 接收速度命令，并通过 I2C 向 MCF8315C-Q1 发送命令。MSPM0L1306 还可用于通过 I2C 通信来监测 BLDC 风扇运行状态。VBK 用于为 IR 接收的 TSOP32238 供电。

4.5.2 基于 UCC28810 的单级 PFC

TIDA-010951 提供了基于 UCC288210 的次级侧调节单级 PFC，可生成能够提供高达 2A 电流的隔离式 24V 电源轨。此反激式转换器可在 140V 至 265V 交流 RMS 范围内运行，并提供严格调节的 24V 电压，同时可在 35W 负载 (24V 电源) 下保持输入功率因数 (PF) > 0.92 且输入电流 THD < 12.5%。表 4-2 显示了单级 PFC 的线路、负载调节、效率、输入 PF 和 THD。

表 4-2. 140V 至 265V 交流电压范围内的单级 PFC 测试结果

V _{IN} (交流 RMS)	P _{IN} (W)	P _{OUT} (W)	V _{OUT} (V)	效率 (%)	输入 PF	输入电流 THD (%)
140	8.49	6	24.15	70.68	0.867	26.5
	14.38	11	24.16	76.5	0.964	10.51
	21.19	17	24.15	80.23	0.978	9.65
	30.35	25	24.16	82.38	0.985	10.1
	42	35	24.15	83.34	0.988	11.5

表 4-2. 140V 至 265V 交流电压范围内的单级 PFC 测试结果 (续)

V _{IN} (交流 RMS)	P _{IN} (W)	P _{OUT} (W)	V _{OUT} (V)	效率 (%)	输入 PF	输入电流 THD (%)
230	8.49	6	24.15	70.68	0.51	45.43
	14.34	11	24.15	76.71	0.682	36
	21.25	17	24.15	80	0.826	22.5
	30.48	25	24.16	82.03	0.93	10.4
	42	35	24.15	83.34	0.95	9.6
265	8.6	6	24.15	69.77	0.426	45.1
	14.45	11	24.15	76.13	0.579	40.4
	21.32	17	24.15	79.74	0.709	32.67
	30.47	25	24.15	82.05	0.828	20.9
	42.04	35	24.16	83.26	0.92	12.2

如果在 85V 至 140V 交流电压范围内使用 TIDA-010951，请对 PCB 进行一些修改以实现出色的 PF 和 iTHD。请参阅以下表 4-2 中的更改和测试结果。

- R14 = 6.8kΩ、R19 = DNP、R17 = 0.22Ω、R18 = 2.2kΩ、C16 = 47pF、R20 = 18kΩ

表 4-3. 85V 至 140V 交流电压范围内的单级 PFC 测试结果

V _{IN} (交流 RMS)	P _{IN} (W)	P _{OUT} (W)	V _{OUT} (V)	效率 (%)	输入 PF	输入电流 THD (%)
85	8.49	6	24.11	78.9	0.968	8.5
	14.38	11	24.11	83.9	0.977	9.4
	21.19	17	24.11	84.8	0.961	9.4
	30.35	25	24.11	85.5	0.949	11.9
	42	35	24.11	85.2	0.948	12.0
110	8.49	6	24.11	78.9	0.94	14.9
	14.34	11	24.11	84.0	0.964	9.3
	21.25	17	24.11	88.6	0.965	9.6
	30.48	25	24.11	87.1	0.955	10.8
	42	35	24.11	87.0	0.951	11.6
140	8.6	6	24.11	77.9	0.86	21.1
	14.45	11	24.1	83.0	0.941	10.6
	21.32	17	24.11	84.8	0.952	9.6
	30.47	25	24.11	87.0	0.961	10.0
	42.04	35	24.11	87.3	0.956	10.5

图 4-4 显示了在 230V_{RMS} 下提供 35W (由 24V 电源轨供电) 时的输入相电流。输入功率因数为 0.95, 输入电流 THD 为 9.6%。

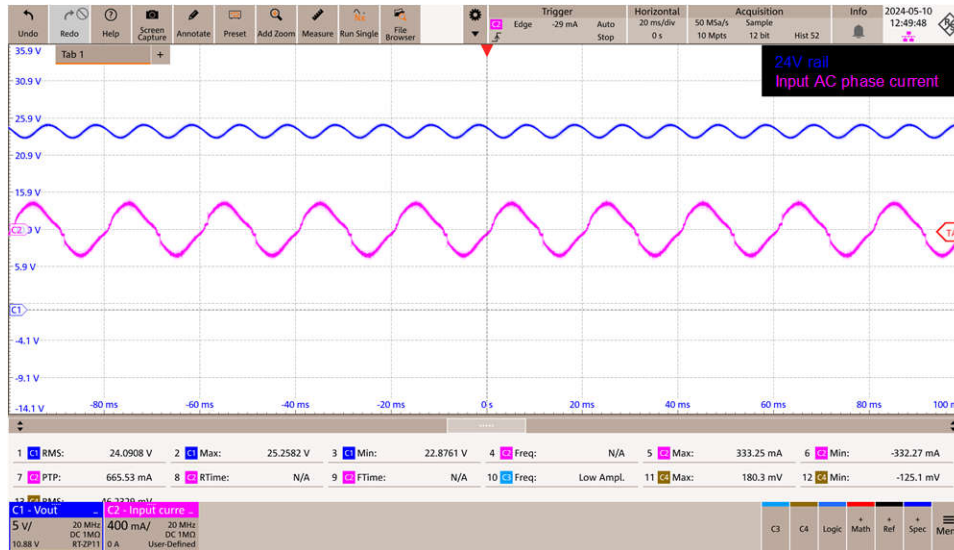


图 4-4. 230V_{RMS}、35W 负载 (由 24V 电源轨供电) 时的输入相电流

4.5.3 使用 MCF8315C 运行 BLDC 家用风扇

4.5.3.1 上电序列

图 4-5 显示了单相电源开启后风扇的上电序列和达到全速所需的时间。在此测试中, SPEED 引脚连接到 AVDD, 在上电时默认设置 100% 速度命令。

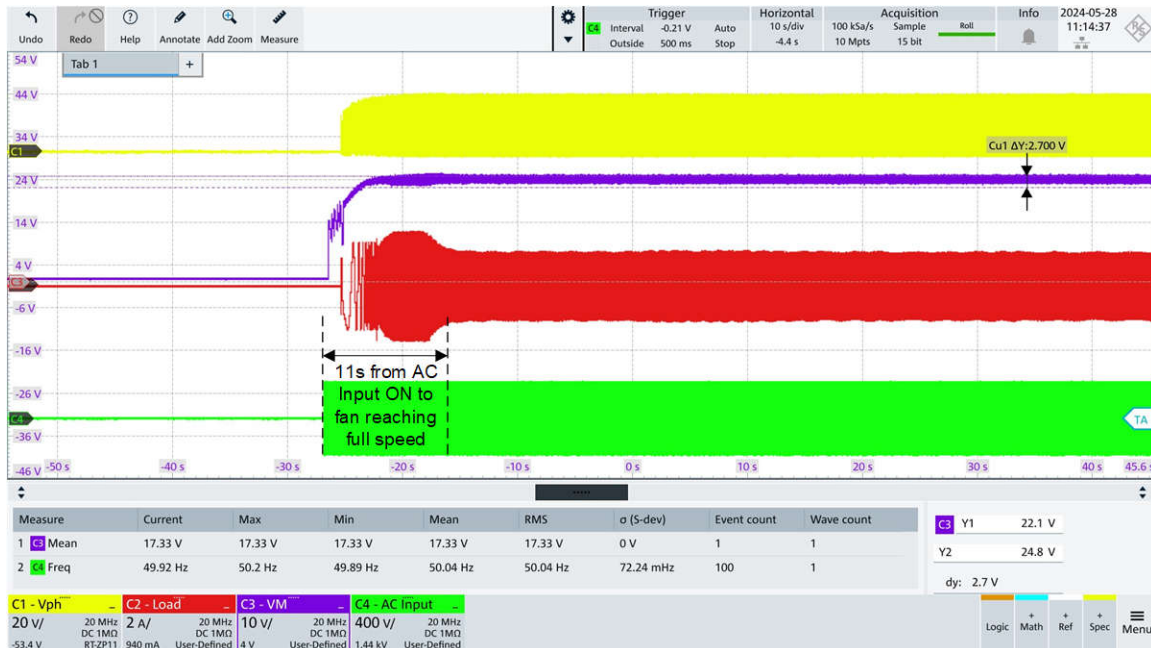


图 4-5. 上电序列

4.5.3.2 正向风车 (ISD 正向重新同步)

图 4-6 显示了 MCF8315C-Q1 在高速 (约 90%) 和低速 (约 10%) 时的正向风车 (ISD 正向重新同步) 功能。这是家用风扇的一个关键用例，其中电机驱动器必须在风扇滑行速度下重新同步，并在尽可能短的时间内驱动以设置速度命令。

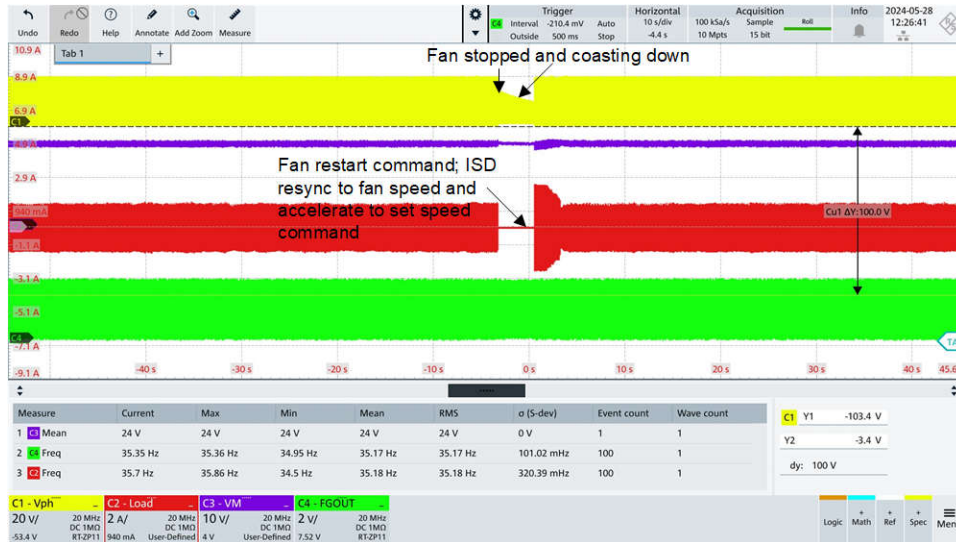


图 4-6. 正向风车 (高速 ISD 正向重新同步)



图 4-7. 正向风车 (低速 ISD 正向重新同步)

4.5.3.3 反向风车 (ISD 反向重新同步)

图 4-8 显示了 MCF8315C-Q1 的反向风车 (ISD 反向重新同步) 功能。在此测试用例中，当接收到速度命令时，风扇反向滑行 (由于侧风)。MCF8315C-Q1 能够反向重新同步，以平稳受控的方式将风扇减速至零速度，然后正向加速至设定的速度。

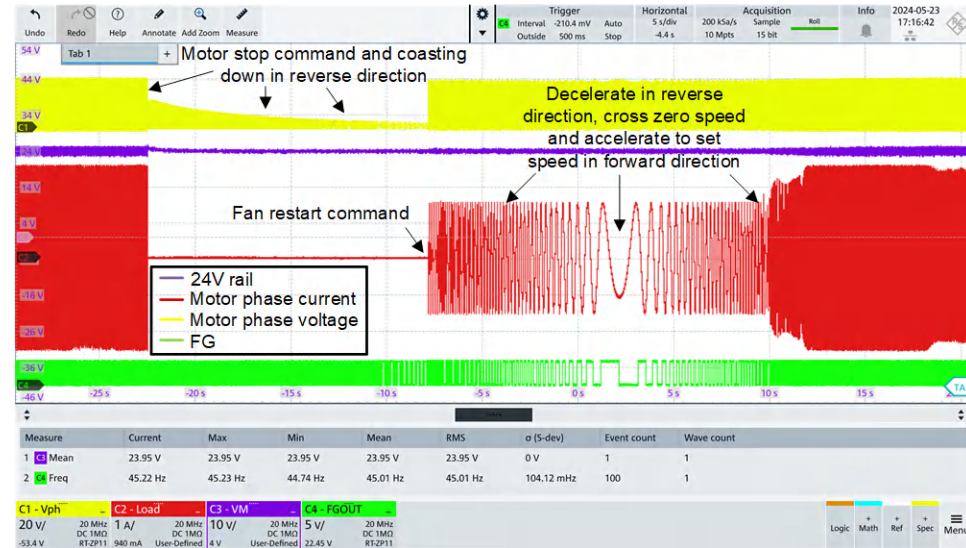


图 4-8. 反向风车 (ISD 反向重新同步)

4.5.3.4 逆转方向

MCF8315C 可以逆转风扇旋转方向，无需施加制动或依靠电机惯性减速。这是一种用于平稳改变风扇方向的功能，如图 4-9 所示。风扇以受控的压摆率减速，以防止 24V 电源轨上出现电压尖峰 (使用 AVS 功能)，并在达到零速时正向加速至设定速度。



图 4-9. 逆转方向

4.5.3.5 风扇加速和减速

图 4-10 和图 4-11 所示为 MCF8315C-Q1 在风扇转速在 100%→30% 和 30%→100% 之间变化时的加速和减速性能。加速度在 EEPROM 中进行设置，而减速速度是以下两个值中的较小值：AVS 确定的值（旨在防止 24V 电源轨出现电压尖峰）和 EEPROM 配置值。在加速和减速过程中，EEPROM 配置值将确定最大电流限制，从而防止出现过流情况。

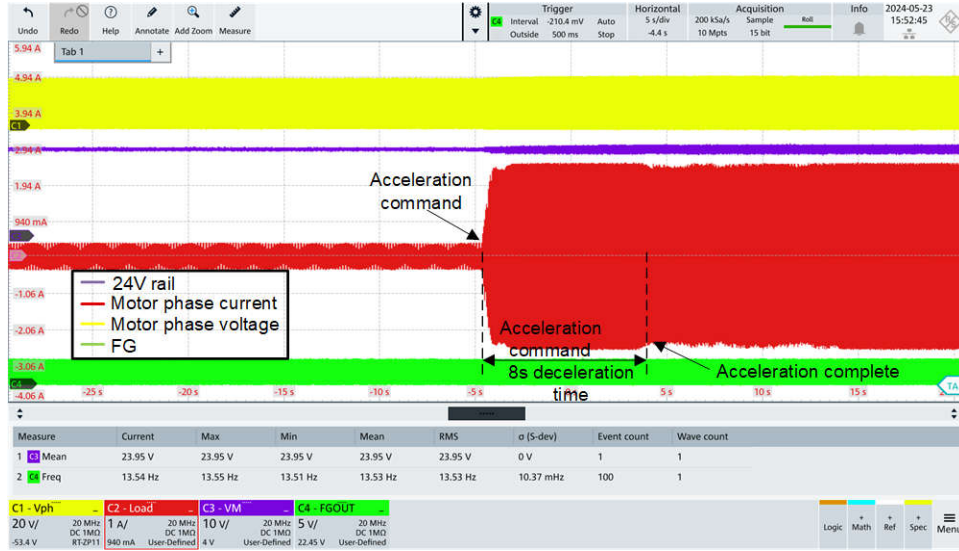


图 4-10. 加速

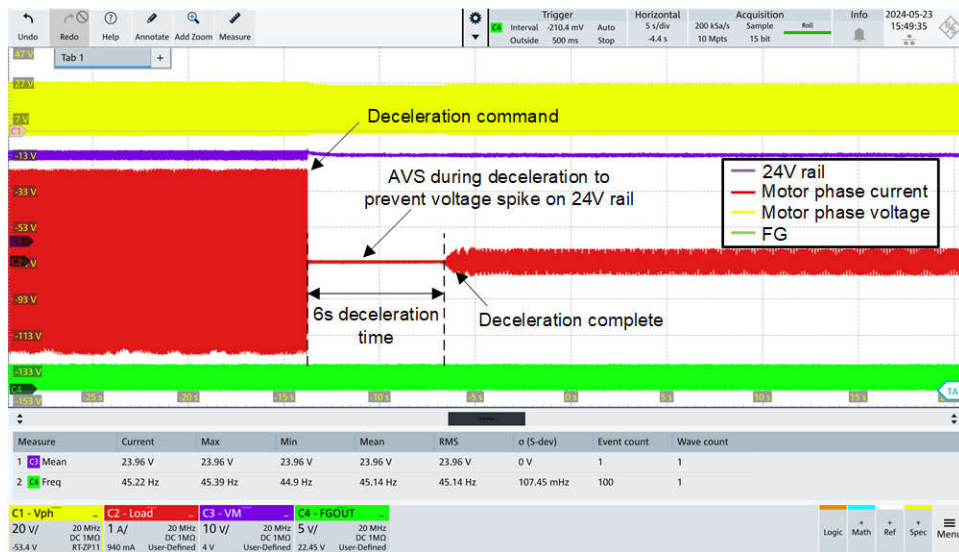


图 4-11. 减速

4.5.4 热性能

图 4-12 和图 4-13 显示了 TIDA-010951 上主要功耗元件的最高外壳温度。测试条件为 -25°C 环境温度、被动冷却、230V 交流 RMS 输入和 1A 电机相电流。以下热像是在上述测试条件下连续运行 30 分钟后捕获的。

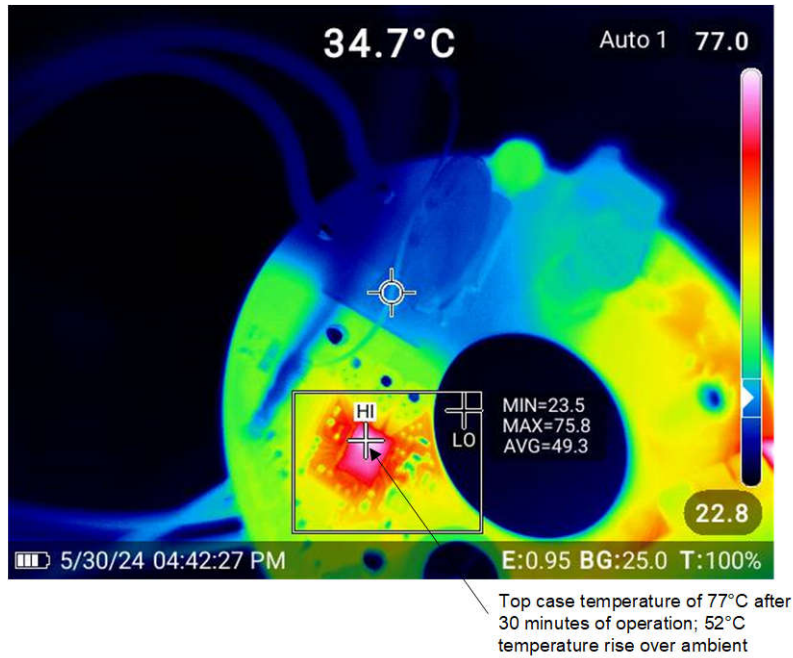


图 4-12. MCF8315C 热性能

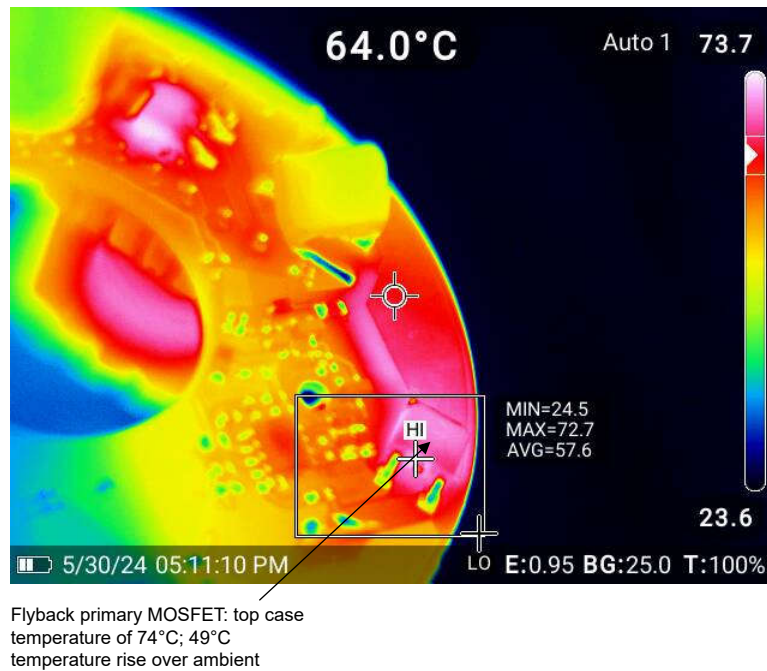


图 4-13. 电源热性能

5 设计和文档支持

5.1 设计文件

5.1.1 原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-010951](#) 中的设计文件。

5.1.2 BOM

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-010951](#) 的设计文件。

5.2 工具与软件

工具

MOTORSTUDIO Motor Studio 是一款易于使用的图形用户界面 (GUI)，可简化我们的无刷直流 (BLDC) 电机驱动器的调优过程，从而减少器件评估和产品开发时间。GUI 允许用户快速旋转电机并优化电机运行的各个阶段，从而实现更高的电机性能、稳定的电机启动和极低的噪声。

CCSTUDIO Code Composer Studio 是适用于 TI 微控制器和处理器的集成开发环境 (IDE)。该 IDE 包含一整套用于开发和调试嵌入式应用的工具。Code Composer Studio 可下载到 Microsoft® Windows®、Linux® 和 macOS® 系统上。此外，还可以通过访问 TI 开发人员专区在云中使用该软件。

5.3 文档支持

1. 德州仪器 (TI)，[MCF8315C 40V 最大电压、4A 峰值电流、无传感器磁场定向控制 \(FOC\) 三相 BLDC 电机驱动器](#) 数据表
2. 德州仪器 (TI)，[UCC28810 LED 照明电源控制器](#) 数据表
3. 德州仪器 (TI)，[MSPM0C110x 具有 16KB 闪存、1KB SRAM、12 位 ADC 的 24MHz Arm® Cortex®-M0+ MCU](#) 数据表
4. 德州仪器 (TI)，[MSPM0L110x 混合信号微控制器](#) 数据表

5.4 支持资源

TI E2E™ 中文支持论坛 是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的 [使用条款](#)。

5.5 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited.

GW Instek® is a registered trademark of Good Will Instrument Co.

Rohde & Schwarz® is a registered trademark of reg.

Agilent® is a registered trademark of Agilent Technologies Inc.

Tektronix® is a registered trademark of Tektronix, Inc.

Fluke® is a registered trademark of Fluke Corporation.

Microsoft® and Windows® are registered trademarks of Microsoft Corporation.

Linux® is a registered trademark of Linux Foundation.

macOS® is a registered trademark of Apple Inc..

所有商标均为其各自所有者的财产。

6 作者简介

JENSON FANG 是德州仪器 (TI) 的系统工程师，负责开发与电机控制和 **BMS** 设计相关的电器系统以及其他电器相关系统。

JOYCE GAO 是中国的一名现场应用工程师，为此硬件设计提供了支持。

7 致谢

作者感谢 **Roberto Scibilia** 在 TIDA-010951 参考设计中对于交流/直流设计的突出贡献。我们感谢 **Robert Wedan**、**Sivabalan Mohan** 和 **Jinesh Todawat** 为设计测试或设计指南准备工作提供的支持，我们也感谢 **Shashank Meti** 为本设计“初步定义”提供的支持。

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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司