

Application Note

如何优化风扇应用中的 **MCF8315** 硬件设计



Jenson Fang, Allen Lu

摘要

MCF831x 是一款集成的无代码无传感器 FOC 器件，可广泛用于住宅风扇、吊扇、空气净化器、冲洗泵等电器系统。MC8315 的高集成度和无代码特性为客户的开发和使用带来了极大的便利，但 BLDC 设计也存在一些常见挑战。本应用手册介绍了如何设计 MCF8315 的硬件，建议了如何简化外设设计，并提供了温度性能结果，可用作设计参考。

内容

1 简介.....	2
1.1 MCF8315 方框图和引脚功能简介.....	3
2 风扇应用硬件架构.....	5
2.1 整体分立式硬件设计.....	5
2.2 MCU+前置驱动器和外部 FET 设计.....	6
2.3 多合一设计.....	6
3 风扇应用的 MCF8315 硬件设计指南.....	7
3.1 MCF8315 电源器件设计.....	7
3.2 MCF8315 功能部件设计.....	7
3.3 MCF8315 通信和输出器件设计.....	8
3.4 MCF8315 原理图设计参考.....	9
3.5 MCF8315 可简化外设设计.....	10
3.6 MCF8315 热性能测试.....	15
4 总结.....	16
5 参考资料.....	16

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

MCF8315 为用户提供了一种单芯片无代码无传感器 FOC 设计，用于驱动需要高达 4A 峰值相电流且具有速度环路/电流环路/电源环路/电压环路的 12V 至 24V 无刷直流电机 (BLDC)。MCF8315 集成了三个半桥，具有 40V 绝对最大电压，在不同的封装形式下，导通电阻 $R_{DS(ON)}$ (高侧+低侧) 均较低，分别为 $240\text{m}\Omega$ (RGF)/ $250\text{m}\Omega$ (RRY)/ $265\text{m}\Omega$ (PWP)，可实现高功率驱动能力。集成的电流检测电路用于检测电流，无需外部电流检测电阻器。可调降压稳压器和 LDO 的电源管理特性为器件生成必要的电压轨，也可用于为外部电路供电。

MCF8315 实现了无传感器 FOC，因此不需要外部微控制器来旋转无刷直流电机。算法在固定功能状态机 (通过 Motor Studio 主机电脑进行配置) 中实现，因此无需手动编程。从电机启动到闭环运行，可通过 I2C 寄存器设置，灵活配置算法。寄存器设置可存储在非易失性 EEPROM 中 (20,000 次擦除和写入)，从而使器件能够在配置后独立运行。该器件通过 PWM、VSP、DUTY 或 I2C 命令接收速度命令，以便根据速度曲线实现闭环控制。

1.1 MCF8315 方框图和引脚功能简介

图 1-1 介绍了 MCF8315 系统方框图和引脚功能。

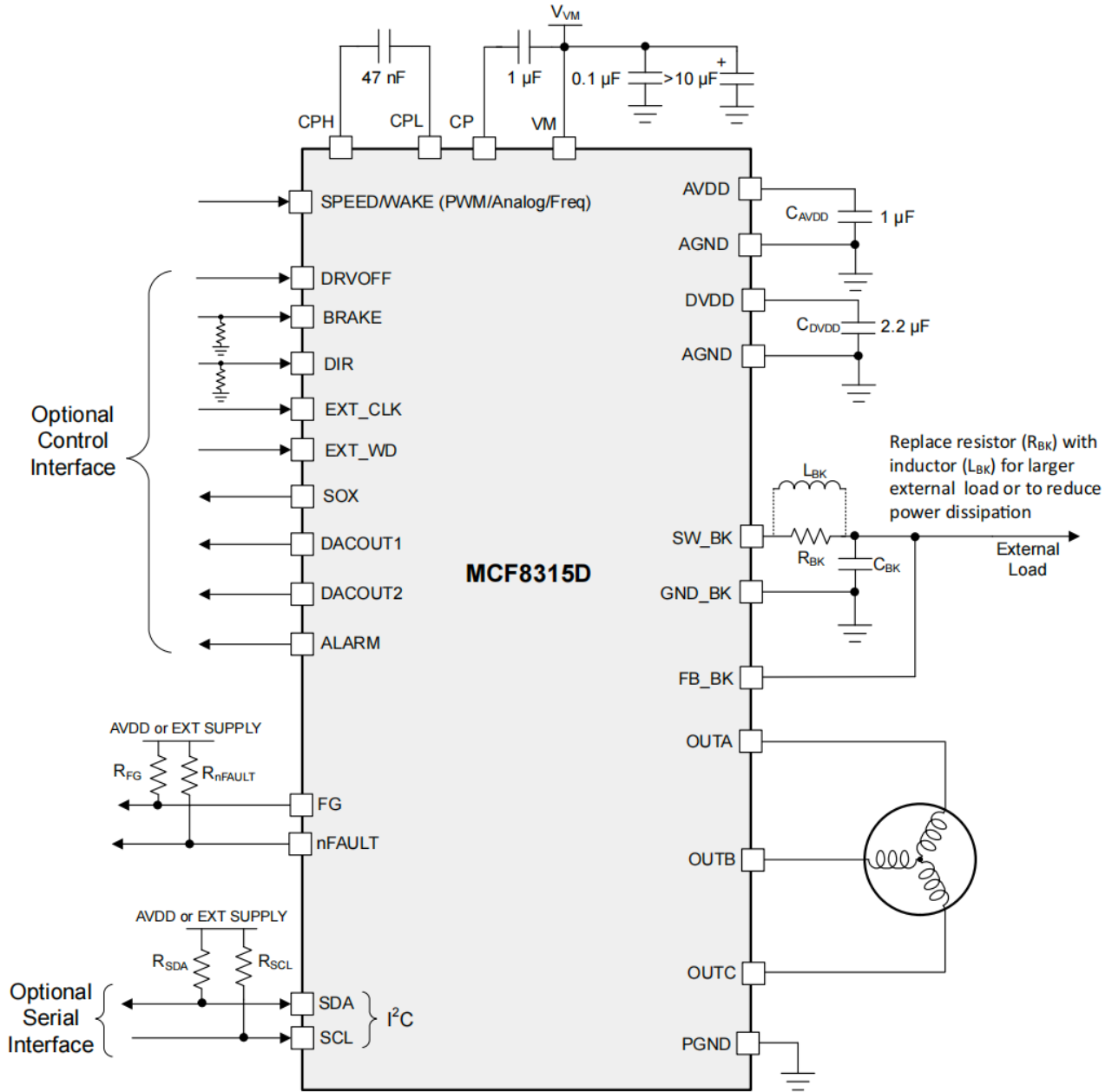


图 1-1. MCF8315 方框图

表 1-1. MCF8315 引脚功能

电源部分		
引脚	类型	说明
VM	PWR	5 至 40VIN 电压输入
SW_BUCK	PWR	降压开关模式，将此引脚连接到电感器或电阻器。
AVDD	PWR O	支持 3.3V 3.3V LDO 输出，外部 1 μ F 电容器接地 该稳压器可以向外部提供 20mA 电流 (在整个电压和温度范围内需要最小 500nF 的有效电容。可以是 1 μ F 或 2.2 μ F)
DVDD	PWR	外部 1 μ F 电容器接地 (在整个电压和温度范围内需要最小 500nF 的有效电容。可以是 1 μ F 或 2.2 μ F)
CPH、CPL	PWR	电荷泵开关节点，在 CPH 和 CPL 引脚之间连接一个 X7R 47nF 陶瓷电容器，建议电容器的额定电压至少是器件正常工作电压的两倍
CP	PWR	电荷泵输出，在 CP 和 VM 引脚之间连接一个 X7R、1 μ F、16V 的陶瓷电容器
FB_BK	PWR I/O	降压稳压器输出控制的反馈引脚，在连接电感器/电阻器之后的降压稳压器输出。 Aan 也由外部 LDO 电压提供/连接到 AVDD，则 SW_BUCK 的电感器/电阻器可省略。 (降压提供 4 种不同的输出电压选项：3.3/4/5/5.7V)
功能部分		
SPEED/WAKE	I	速度命令输入，支持 PWM/DUTY/VSP 输入 具有 1M Ω 的内部下拉电阻器。
FG	O	速度输出信号，漏极开路输出
nFAULT	O	故障指示，在故障条件下，下拉至低电平，PULLUP_ENABLE 设置上拉 (PULLUP_ENABLE 启用内部上拉至 3.3V，启用此功能时无需外部上拉)
DRVOFF	I	DRVOFF 为高电平，六个 MOSFET 输出处于高阻抗状态。 如果不使用 DRVOFF 引脚，则直接连接到 AGND (单点接地)。 如果使用 DRVOFF 引脚来实现 MOSFET 输出高阻抗状态，请将一个外部 10k 电阻器连接到 AGND，以实现更好的噪声抑制。
BRAKE	I	高电平 $\rightarrow$ 电机制动 低电平 $\rightarrow$ 电机正常运行 如果不使用 BRAKE 引脚，则直接连接到 AGND (单点接地)。
DIR	I	低电平时，相位驱动序列为 OUT A $\rightarrow$ OUT C $\rightarrow$ OUT B。 高电平时，相位驱动序列为 OUT A $\rightarrow$ OUT B $\rightarrow$ OUT C。 如果不使用 DIR 引脚，则直接连接到 AGND，可使用 EEPROM 设置来设置方向 如果 DIR 引脚用于更改电机旋转方向，请将一个外部 10k 电阻器连接到 AGND，以实现更好的噪声抑制。
EXT_CLK	I	外部时钟基准模式下的外部时钟基准输入 速度环路精度：3% 使用内部时钟，1% 使用外部时钟参考 (可选)
EXT_WD	I	外部看门狗输入 (可选)
DACOUT	O	数模转换器 (DAC) 输出
通信部分		
SCL/SDA	I/O	I2C 时钟和数据
电机输出部分		
OUTA/B/C	PWR O	三相 U/V/W 半桥电机输出，无需外部电流检测电阻器

2 风扇应用硬件架构

对于风扇应用，大多数电压或功率级别为 12V 至 24V 且小于 45W。常规风扇应用（例如，排气扇、吊扇、水泵、壁挂式燃气锅炉等）及一般硬件架构，如下所示：

2.1 整体分立式硬件设计

此设计包含的架构：处理器 MCU + 半桥驱动器 + MOSFET + 电流放大器电路 + 电流检测电路 + 保护单元。其优点是可以灵活选择不同的材料和规格，从而实现更高的功率和更好的温升。缺点是材料成本高，PCB 面积受电机尺寸限制。例如，对于 48mm/60mm 电机，定子的内部间隙直径约为 25mm/30mm，这使得在设计中只剩下 23mm/30mm 宽的区域用于元件布局，这对工程师来说很难进行布局。

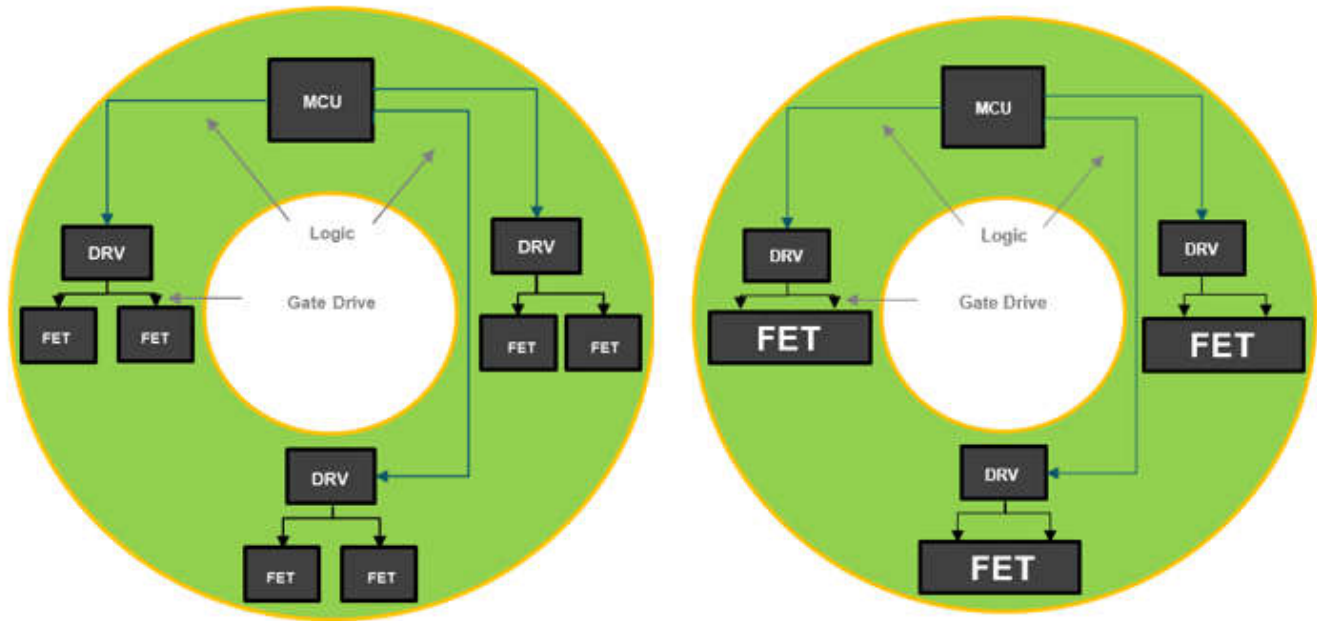


图 2-1. 风扇应用中的分立式硬件设计架构

2.2 MCU+前置驱动器和外部 FET 设计

在此设计中，某些 MCU 器件集成了栅极驱动器和内置的电流放大/保护电路。用户只需连接外部 MOSFET。与之前的设计相比，这可以在更大程度上降低材料成本，并使工程师能够更轻松地对系统进行布局。此设计也在市场上得到了广泛使用。缺点是工程师仍然需要花费大量时间进行底层驱动程序的调试和电机控制算法的优化。

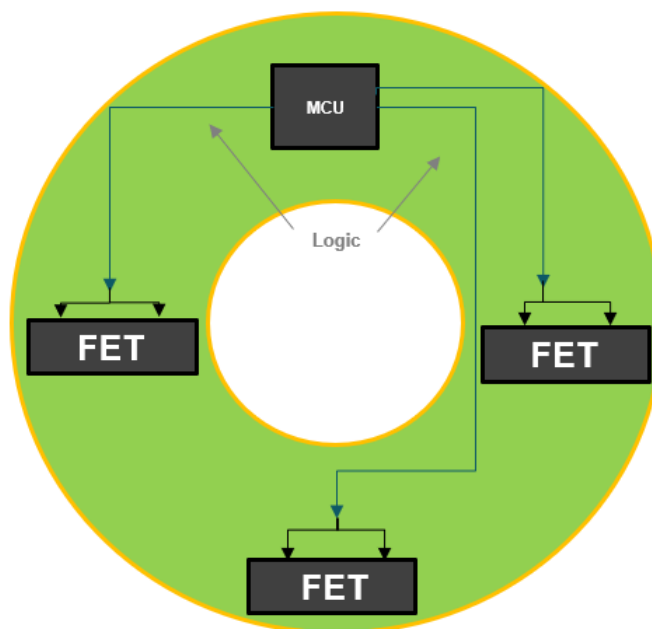


图 2-2. 风扇应用中的 MCU+前置驱动器和外部 FET 架构

2.3 多合一设计

此设计集成了 MCU、半桥驱动电路、电流放大器、保护电路、MOSFET 等。完全集成式设计可在更大程度上节省 PCB 面积，而无需添加额外的电路。工程师无需具备算法编写能力。

通过具有预设参数的主机电脑，可以完成产品开发，更快地完成项目评估。

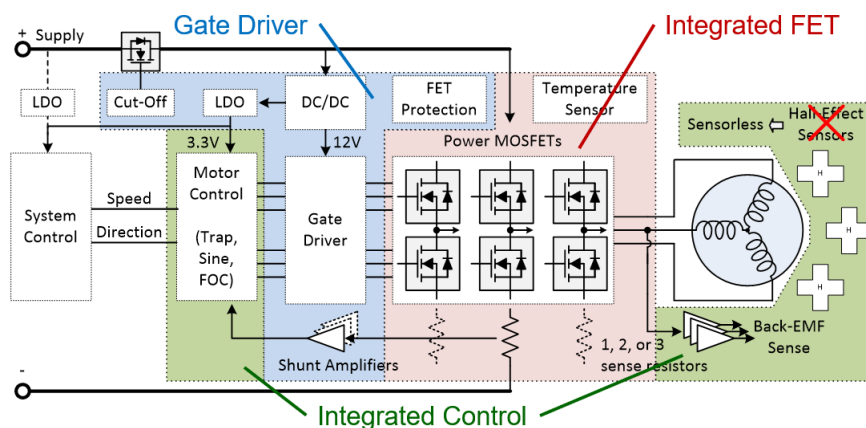


图 2-3. 风扇应用中的多合一设计架构

3 风扇应用的 MCF8315 硬件设计指南

使用 TI 的 MCF8315DVPWPR 进行设计，可以将工业风扇系统的总成本降低 20-30%。以下是常用电机驱动（含速度控制）设计的系统设计。

3.1 MCF8315 电源器件设计

根据数据表中的引脚定义要求，设计要求如下：

表 3-1. MCF8315 电源器件设计

引脚	说明
VM	>10uF 电容器接地，100nF 电容器接地，耐受电压是 VM 输入电压的两倍。
VM、CP	在 CP 和 VM 间连接一个 1μF、16V 自举电容器。
CPH、CPL	在 CPH 和 CPL 之间连接一个 47nF 电容器，其耐受电压是 VM 输入电压的两倍。
AVDD	外部 1uF 电容器接地（在整个电压和温度范围内可以达到 1uF/2.2uF、>500nF）
DVDD	外部 1uF 电容器接地（在整个电压和温度范围内可以达到 1uF/2.2uF、>500nF）
SW_BUCK	根据负载选择电阻/电感值

表 3-2. 降压稳压器的建议设置

降压模式	降压输出电压	来自 AVDD 的最大输出电流 (I _{AVDD_MAX})	来自降压的最大输出电流 (I _{BK_MAX})	降压电流限制	AVDD 电源时序
电感器 - 47 μH	3.3V、4V、5V 或 5.7V	20mA	170mA	600mA (BUCK_CL = 0b)	不支持 (BUCK_PS_DIS = 1b)
电感器 - 47 μH	5V 或 5.7V	20mA	170mA - I _{AVDD}	600mA (BUCK_CL = 0b)	支持 (BUCK_PS_DIS = 0b)
电感器 - 22 μH	3.3V、4V、5V 或 5.7V	20mA	20mA	150mA (BUCK_CL = 1b)	不支持 (BUCK_PS_DIS = 1b)
电感器 - 22 μH	5V 或 5.7V	20mA	20mA - I _{AVDD}	150mA (BUCK_CL = 1b)	支持 (BUCK_PS_DIS = 0b)
电阻 - 22 Ω	3.3V、4V、5V 或 5.7V	20mA	10mA	150mA (BUCK_CL = 1b)	不支持 (BUCK_PS_DIS = 1b)
电阻 - 22 Ω	5V 或 5.7V	20mA	10mA - I _{AVDD}	150mA (BUCK_CL = 1b)	支持 (BUCK_PS_DIS = 0b)

3.2 MCF8315 功能部件设计

根据数据表中的引脚定义要求，设计要求如下：

表 3-3. MCF8315 功能部件设计

引脚	说明
SPEED	SPEED 引脚可配置为接收 PWM、频率或 VSP 信号。
FG	FG 提供与电机转速成正比的脉冲，PULLUP_ENABLE 用于设置内部上拉电阻 (3.3V)
nFAULT	nFAULT（低电平有效）引脚提供器件或电机运行中的故障状态。 MCF8315 提供了理想的状态机保护和恢复机制，可实现器件锁定或自恢复。 此设计没有额外的 MCU 系统，可以悬空或连接到 LED 灯以起到提醒作用
DRVOFF	当该引脚被驱动至高电平时，MCF8315 通过将 MOSFET 设置为高阻抗状态来停止驱动电机， 当 DRVOFF 在电机运行期间驱动为高电平时，DRVOFF 可能伴随无电机或反电动势异常等故障 此设计对停止电机没有特殊要求，无需外部引线，并且直接连接到 AGND（单点接地）

表 3-3. MCF8315 功能部件设计（续）

引脚	说明
BRAKE	当 BRAKE_INPUT 默认设置为 0h = 硬件引脚制动： 当 BRAKE 引脚驱动至高电平时，MCF8315 进入制动状态。 当 BRAKE_INPUT 设置为 1h/2h 时： 1h = 根据 BRAKE_PIN_MODE 忽略引脚电平，可以通过 BRAKE_PIN_MODE 将制动状态配置为低侧制动或对齐制动 2h = 忽略引脚电平，无制动/对齐 此设计不使用此引脚，通过寄存器来设置制动并直接连接到 AGND（单点接地）
DIR	DIR 引脚决定了电机的旋转方向； 当驱动为高电平时，序列为 OUT A → OUT B → OUT C 当驱动为低电平时，序列为 OUT A → OUT C → OUT B 此设计不使用 DIR 引脚，通过使用 I2C 接口来配置 DIR_INPUT，从而直接连接到 AGND（单点接地）
EXT_CLK	对于低成本应用，3% 的速度环路精度就足够了。此设计不使用外部时钟源，而是直接连接到 AGND（单点接地）
EXT_WD	此设计没有额外的 MCU 系统，直接连接到 AGND（单点接地）
DACOUT	此设计不需要获得与数字变量等效的模拟电压，不需要引脚输出，可保持悬空。

3.3 MCF8315 通信和输出器件设计

MCF8315 使用标准 I2C 协议进行寄存器通信及读取和写入。可以通过烧录器端保留上拉电阻器，并且可以为板载电路保留相应的测试焊点。

表 3-4. MCF8315 通信和输出器件设计

引脚	说明
SCL/SDA	建议使用 5.1kΩ 上拉电阻器 也可以根据实际 PCB 板上的寄生电容来调整 SLEW_RATE_I2C_PINS 0h = 4.8mA（默认值） 1h = 3.9mA 2h = 1.86mA 3h = 30.8mA
OUTA/B/C	无需外部电流检测电阻器

3.4 MCF8315 原理图设计参考

根据系统设计要求，请参阅以下参考电路：

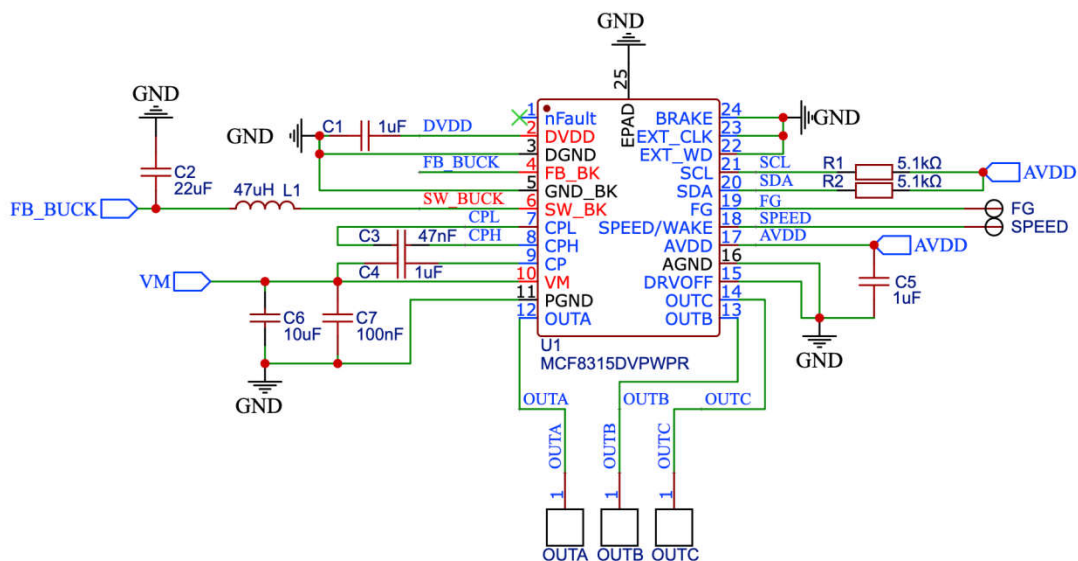


图 3-1. MCF8315 原理图设计参考

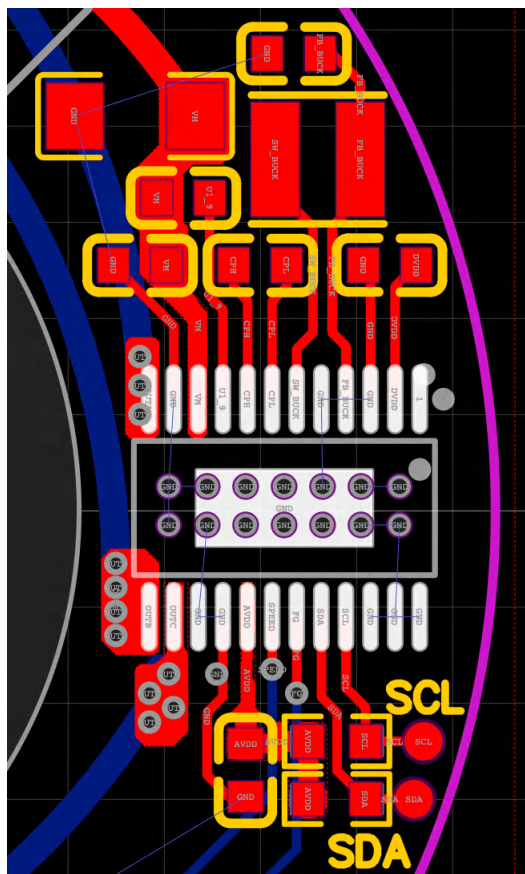


图 3-2. MCF8315 布局设计参考

MCF8315 设计 3D 布局参考图：外径 48mm，内径间隙 26mm。在此设计中，PCB 外设设计仅占用 10mm x 22mm 的面积

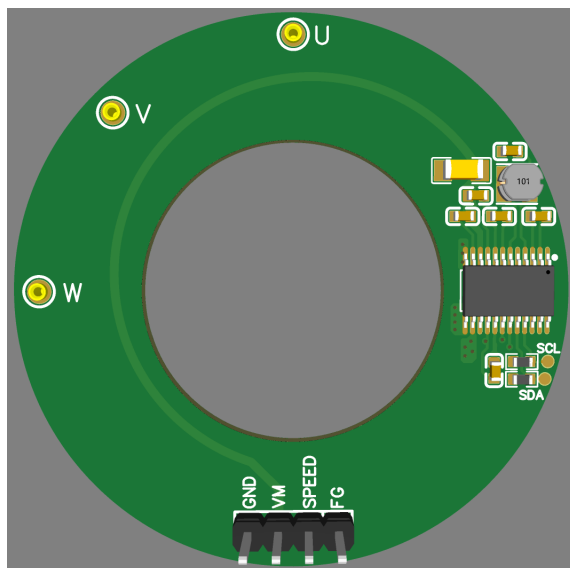


图 3-3. MCF8315 布局设计 3D 图

可以看到，完成 12V 至 24V (40Wmax) 无传感器 FOC 电机驱动器的硬件设计只需要少量外设。用户可以根据工程需求，引出相应的功能模块引脚。

3.5 MCF8315 可简化外设设计

MCF8315 具有一个集成式混合模式降压稳压器，可为外部控制器或系统电压轨提供 3.3V 或 5V 稳压电源。此外，降压输出可以配置为 4V 或 5.7V 以支持外部 LDO 的额外余量，用于生成 3.3V 或 5V 电源。降压输出电压由 BUCK_SEL 设置。但是，在没有额外的 MCU 电源轨的情况下，该电感器/电阻器不起作用，但会产生额外的材料成本并占用额外的 PCB 面积。本文提出了一种用于优化设计的新方案：

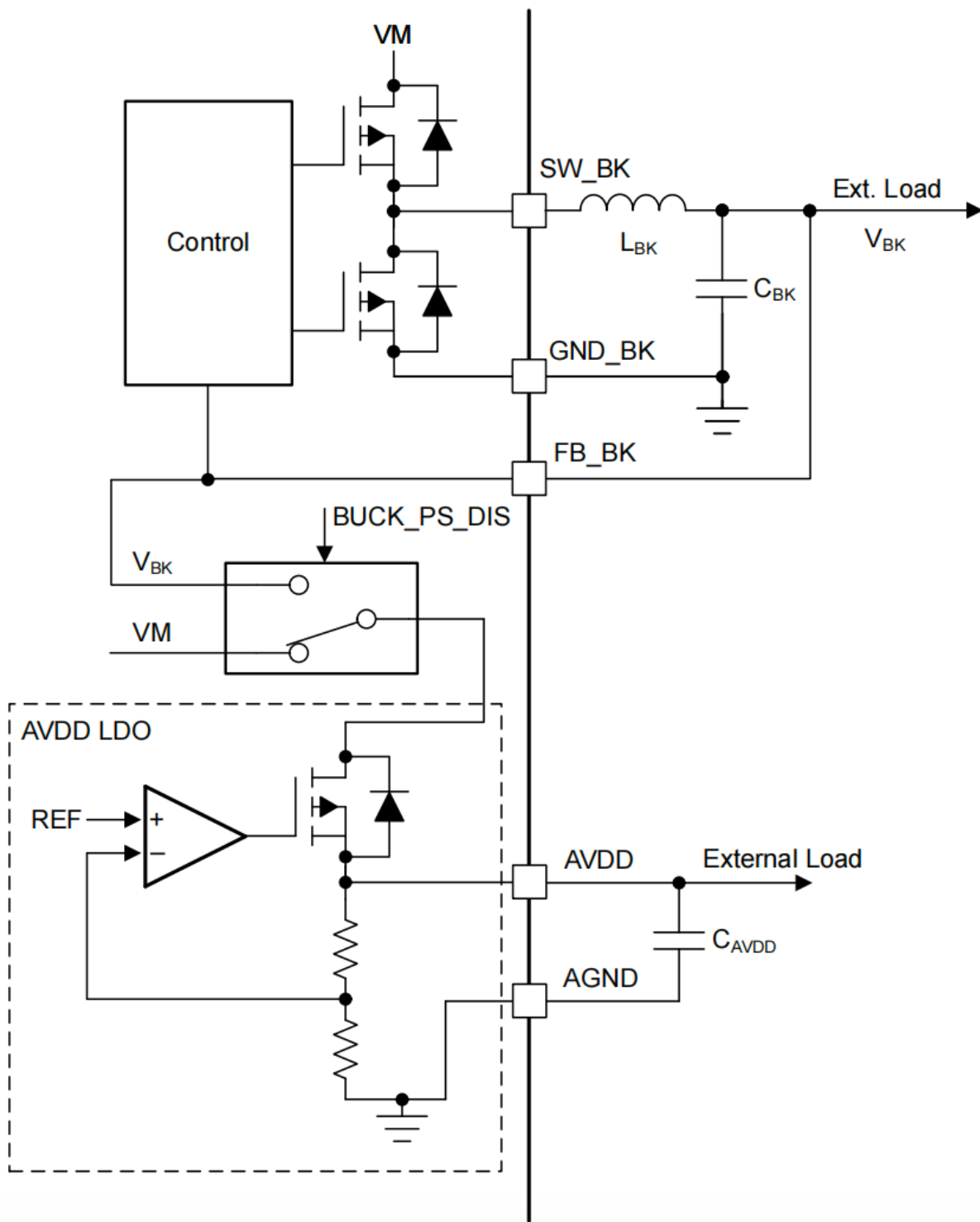


图 3-4. MCF8315 电源序列

根据电源轨架构，可以看出 AVDD 的电源轨由 V_{buck} 或 VM 电源提供。如果需要省略 VBUCK 电路，则需要禁用降压稳压器，BUCK_DIS = 1h (默认值 0h 会启用降压稳压器) 并且 BUCK_CL = 1h (降压稳压器电流限制设置为 150mA)。此时，SW_BUCK 引脚可以停止 PWM 波形，并限制最大电流。然后设置 BUCK_PS_DIS = 1b。此时，AVDD 电源轨输入路径为 VM->AVDD。

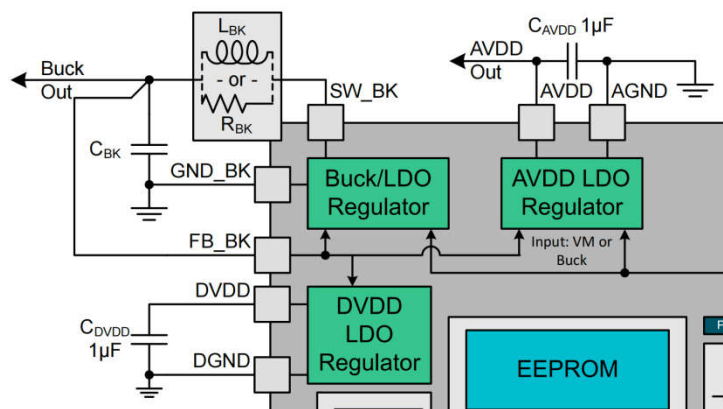


图 3-5. MCF8315 电源轨

根据规范中所示的电源轨，FB_BK 此时没有电压，而 DVDD 是通过 FB_BK 输入，因此 DVDD 没有通电，芯片无法工作。上一章提到 AVDD 具有 20mA 输出功能，我们可以将 AVDD 连接到 FB_BK 引脚。前提是 FB_BK 电压降至足够低的电平，以触发内部电路上的欠压。

在此阶段，电源轨输入路径更改为：VM->AVDD->FB_BK->DVDD。

操作步骤归纳如下：

表 3-5. 简化外设设计的步骤

步骤	寄存器	设置	说明
1	BUCK_DIS	1h	禁用降压稳压器
2	BUCK_CL	1h	降压稳压器电流限制设置为 150mA
3	BUCK_PS_DIS	1h	禁用降压电源时序
4	AVDD 通过 PCB 路由至 FB_BK 引脚。避免布线过长。在 FB_BK 引脚旁边添加一个 1uF 接地电容器。		
5	BUCK_SEL	0h	降压电压设置为 3.3V

此外，为了降低输入电压与 AVDD 之间的损耗，FB_BK 引脚还支持输入一个外部 LDO 来降低功率损耗：

表 3-6. 使用外部 LDO 简化外设设计的步骤

步骤	寄存器	设置	说明
1	BUCK_DIS	1h	禁用降压稳压器
2	BUCK_CL	1h	降压稳压器电流限制设置为 150mA
3	BUCK_PS_DIS	1h	禁用降压电源时序
4	将外部 3V3/5V LDO 输出连接到 FB_BK 引脚，添加 1uF 电容器接地		
5	BUCK_SEL	0h	降压电压设置为 3.3V

参考原理图：

图 3-6 展示了可以通过将 AVDD 连接到 FB_BK 来简化外设设计。

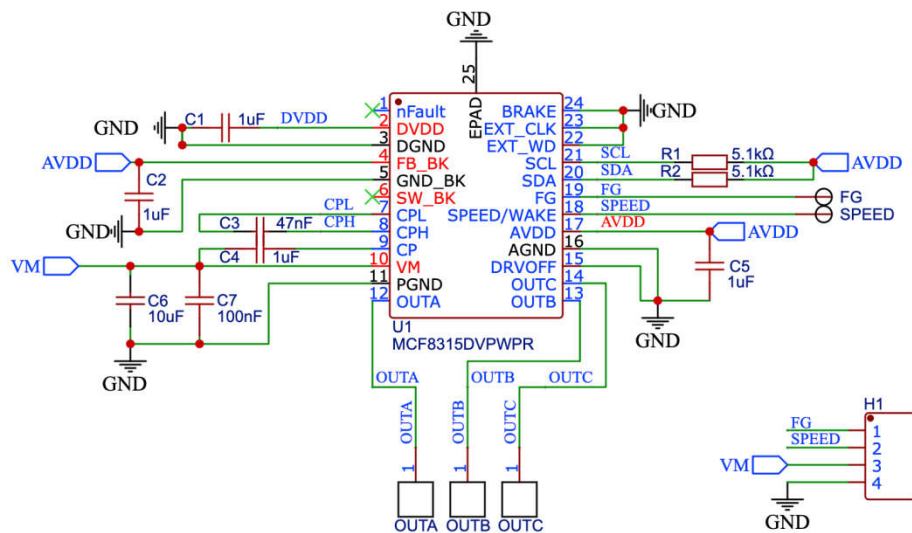


图 3-6. MCF8315 简化外设设计原理图参考

参考布局：

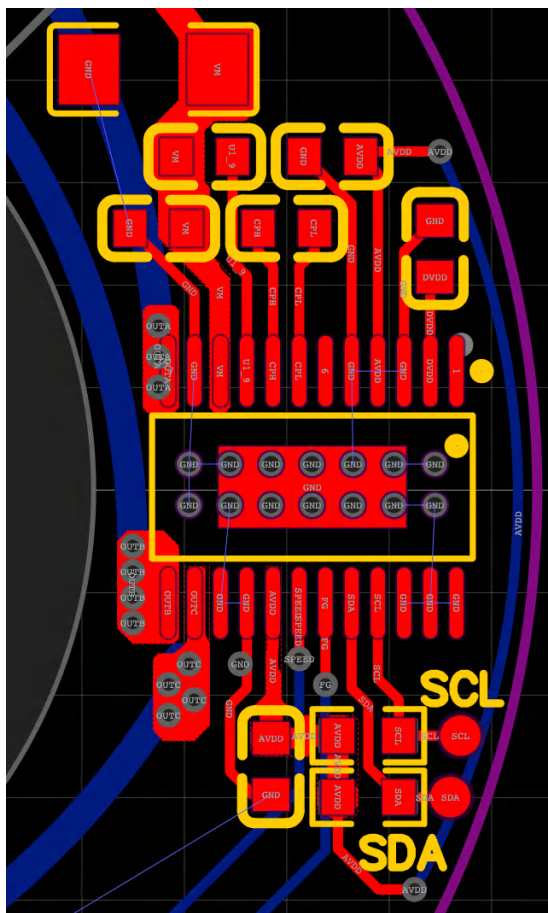


图 3-7. MCF8315 简化外设设计原理图参考

MCF8315 设计 3D 布局参考图：外径 48mm，内径间隙 26mm。在此设计中，PCB 外设设计仅占用 10mm x 20mm 的面积

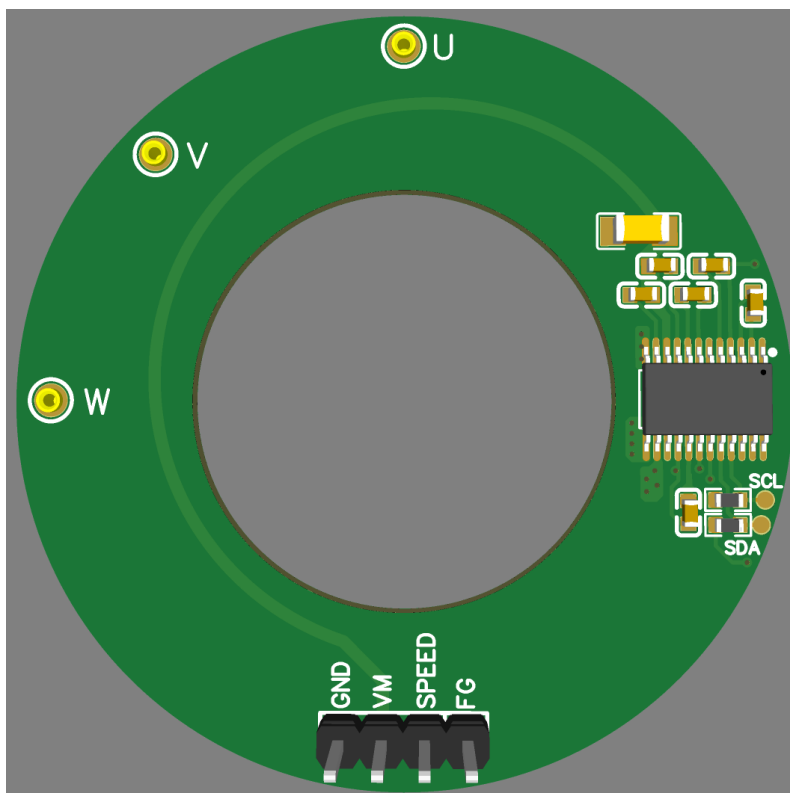


图 3-8. MCF8315 简化外设设计布局 3D 图

表 3-7. MCF8315 简化外设设计 BOM

ID	名称	位号	封装	数量
1	1uF	C1、C2、C4、C5	C0603	4
2	47nF	C3	C0603	1
3	100nF	C7	C0603	1
4	10uF	C6	C1206	1
5	5.1k Ω	R1、R2	R0603	2
6	MCF8315DVPWPR	U1	HTSSOP-24	1

更新 BOM 表 (不包括连接器) 进行比较后，只需要 **7** 个必要的电容器即可完成此设计。此设计可以降低外设元件的成本并减少元件占用的面积，同时确保电机性能尽可能保持不变。当然，这也会带来器件功耗增加的问题。

3.6 MCF8315 热性能测试

3.6.1 MCF8315 TSSOP 热测试 (使用电感版本)

以下测试在 24V 和 1.25A (30W) 条件下运行 MCF8315 TSSOP，输出峰值电流约为 2.3A (73Hz)，得出双层 PCB 测试结果。(PWM 开关频率：15KHz)

环境温度为 26°C，温升约为 68°C。

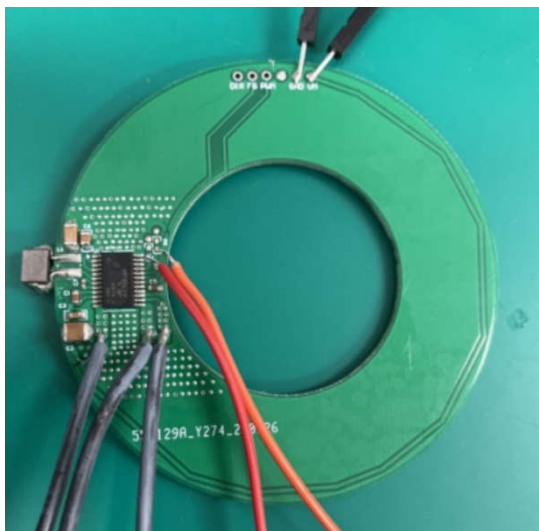


图 3-9. MCF8315 双层 (使用电感版本 PCB)

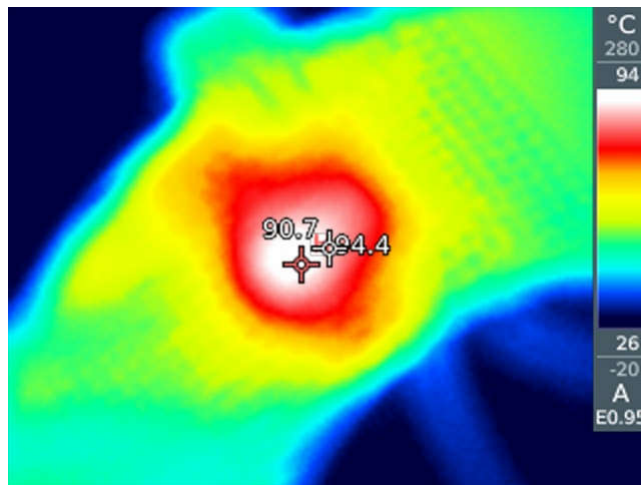


图 3-10. MCF8315 双层 (使用电感) 30W 热测试结果

以下测试在 24V 和 0.89A (约 20W) 条件下运行 MCF8315 TSSOP，输出峰值电流约为 2.1A (68Hz)。单层 PCB 测试结果。(PWM 开关频率：15KHz)

环境温度为 27°C，温升约为 57.5°C。

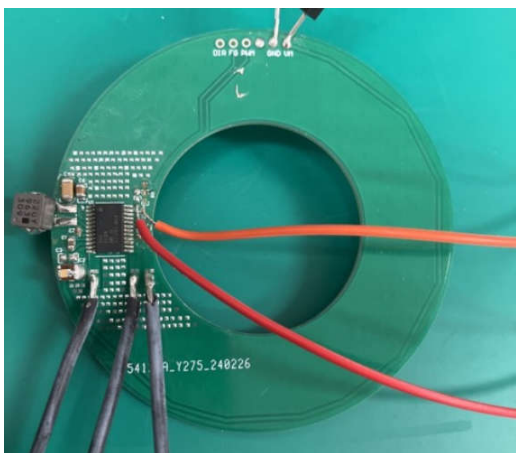


图 3-11. MCF8315 单层 (使用电感版本) PCB

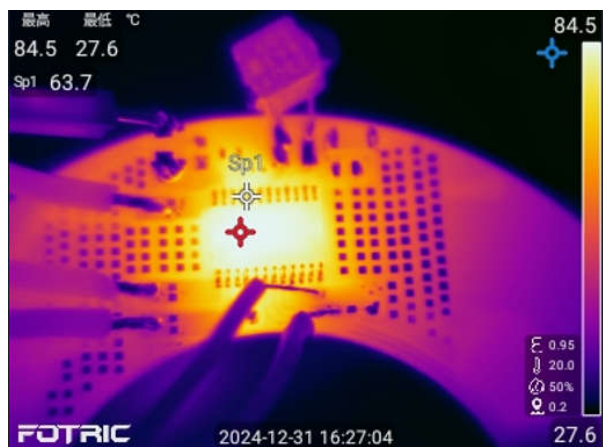


图 3-12. MCF8315 单层 (使用电感) 20W 热测试结果

4 总结

本应用手册讨论了风扇的应用案例，总结了使用 MCF8315 器件的硬件设计，在集成设计中实现了系统级优化，并在此基础上提出了一种更具成本效益的设计。本文档还使用不同的 PCB 来优化器件的温升，从而实现出色的成本和性能设计。

5 参考资料

- 德州仪器 (TI), [MCF8315A 无传感器磁场定向控制 \(FOC\) 集成式 FET BLDC 驱动器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [MCF8316A 调优指南](#) 用户指南。
- 德州仪器 (TI), [如何设计高效散热型集成式 BLDC 电机驱动 PCB](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [MCF8316A - 设计挑战与解决方案](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [如何使用 MCF831x 来解决散热和快速启动挑战](#), 应用手册
- 德州仪器 (TI), [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](#), 设计指南

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、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。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司