



汽车冷却风扇参考设计 用户指南

请注意以下有关 Microchip 产品代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术规范。
- Microchip 确信：在正常使用且符合工作规范的情况下，Microchip 系列产品非常安全。
- Microchip 注重并积极保护其知识产权。严禁任何试图破坏 Microchip 产品代码保护功能的行为，这种行为可能会违反《数字千年版权法案》（Digital Millennium Copyright Act）。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。代码保护功能处于持续发展。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。

提供本文档的中文版本仅为为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物及其提供的信息仅适用于 Microchip 产品，包括设计、测试以及将 Microchip 产品集成到您的应用中。以其他任何方式使用这些信息都将被视为违反条款。本出版物中的器件应用信息仅为您提供便利，将来可能会发生更新。如需额外的支持，请联系当地的 Microchip 销售办事处，或访问 www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-supportservices。

Microchip “按原样”提供这些信息。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销，Microchip 概不承担任何责任，即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔，Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额（如有）。如果将 Microchip 器件用于生命维持和 / 或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗或以其他方式转让任何许可证。

有关 Microchip 质量管理体系的更多信息，请访问 www.microchip.com/quality。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Adaptec、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maxStylus、maxTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

AgileSwitch、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Flashtec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、Clockstudio、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、EyeOpen、GridTime、IdealBridge、IGaT、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、IntelliMOS、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、Knob-on-Display、MarginLink、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、mSiC、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICKtail、Power MOS IV、Power MOS 7、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SmartHLS、SMART-I.S.、storClad、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、Trusted Time、TSHARC、Turing、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Incorporated 在美国的服务标记。Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology 和 Symmcom 均为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2024, Microchip Technology Incorporated 及其子公司版权所有。ISBN: 978-1-6683-3103-3

目录

前言	5
第 1 章 概述	9
1.1 简介	9
1.2 特性	10
第 2 章 板上接口说明	13
2.1 简介	13
2.2 板上连接器	13
2.3 测试点	16
2.4 dsPIC DSC 的引脚功能	18
附录 A 原理图和布线图	21
A.1 原理图和布线图	21
附录 B 电气规范	29
B.1 电气规范	29
附录 C 物料清单 (BOM)	31
C.1 物料清单 (BOM)	31
附录 D 测试结果	33
D.1 转速 — 输入功率关系曲线	33
全球销售及服务网点	35

注:

前言

客户须知

本文档如同所有其他文档一样具有时效性。Microchip 会不断改进工具和文档以满足客户的需求，因此实际使用中有些对话框和 / 或工具说明可能与本文档所述之内容有所不同。请访问我们的网站 (www.microchip.com) 获取最新文档。

文档均标记有“DS”编号。该编号出现在每页底部的页码之前。DS 编号的命名约定为“DSXXXXXXXXA_CN”，其中“XXXXXXXX”为文档编号，“A”为文档版本。

欲了解开发工具的最新信息，请参考我们网站上的 **MPLAB® X 集成开发环境 (Integrated Development Environment, IDE)**。

简介

本章包含使用汽车冷却风扇参考设计前需要了解的一般信息。本章所述内容包括：

- 文档编排
- 本指南中使用的约定
- 推荐读物
- [Microchip 网站](#)
- [产品变更通知服务](#)
- [客户支持](#)
- [文档版本历史](#)

文档编排

本用户指南概括介绍了汽车冷却风扇参考设计。文档内容编排如下：

- **第 1 章 “概述”** —— 本章介绍汽车冷却风扇参考设计并简要概述其各种特性。
- **第 2 章 “板上接口说明”** —— 本章介绍开发板的主要电路元件。
- **附录 A “原理图和布线图”** —— 本附录提供汽车冷却风扇参考设计的原理图。
- **附录 B “电气规范”** —— 本附录提供汽车冷却风扇参考设计的电气规范。
- **附录 C “物料清单 (BOM)”** —— 本附录提供用于组装电路板的元件列表。
- **附录 D “测试结果”** —— 本附录提供汽车冷却风扇参考设计的测试结果。

本指南中使用的约定

本指南采用以下文档约定：

文档约定

说明	表示	示例
Arial 字体：		
斜体字	参考书目	<i>MPLAB® IDE User's Guide</i>
	需强调的文字	<i>…… 仅有的编译器 ……</i>
首字母大写	窗口	Output 窗口
	对话框	Settings 对话框
	菜单选择	选择 Enable Programmer
引用	窗口或对话框中的字段名	“Save project before build”
带右尖括号且有下划线的斜体文字	菜单路径	<i><u>File>Save</u></i>
粗体字	对话框按钮	单击 OK
	选项卡	单击 Power 选项卡
N'Rnnnn	verilog 格式的数字，其中 N 为总位数，R 为基数，n 为其中一位。	4'b0010, 2'hF1
尖括号 <> 括起的文字	键盘上的按键	按下 <Enter>, <F1>
Courier New 字体：		
常规 Courier New	源代码示例	#define START
	文件名	autoexec.bat
	文件路径	c:\mcc18\h
	关键字	asm, endasm, static
	命令行选项	-Opa+, -Opa-
	二进制位值	0, 1
	常量	0xFF, 'A'
斜体 Courier New	可变参数	<i>file.o</i> , 其中 <i>file</i> 可以是任一有效文件名
方括号 []	可选参数	mcc18 [选项] <i>file</i> [选项]
花括号和竖线: {}	选择互斥参数；“或”选择	errorlevel {0 1}
省略号 ...	代替重复文字	var_name [, var_name...]
	表示由用户提供的代码	void main (void) { ... }

推荐读物

本用户指南介绍如何使用汽车冷却风扇参考设计。有关编程特定单片机或数字信号控制器（Digital Signal Controller, DSC）的最新信息，请参见具体器件的数据手册。建议读者将以下 Microchip 文档作为补充参考资料：

《MPLAB® XC16 C 编译器用户指南》（DS50002071E_CN）

本综合指南介绍了适用于 16 位器件的 Microchip MPLAB XC16 C 编译器（以前称为 MPLAB C30）的用法、操作和功能。

《MPLAB® X IDE 用户指南》（DS50002027E_CN）

本文档介绍了 MPLAB X IDE 软件的安装和实现方式。

《dsPIC33CDVL64MC106 系列数据手册》（DS70005441C_CN）

本文档提供了 dsPIC33CDVL64MC106 和 dsPIC33CDV64MC106 器件的具体信息。dsPIC33CDVL64MC106 具有 16 位数字信号控制器、MOSFET 栅极驱动器和 LIN 收发器。dsPIC33CDV64MC106 仅具有数字信号控制器和 MOSFET 栅极驱动器。

ATA663211 Data Sheet（DS20006191）

本文档提供了 ATA663211 LIN 收发器的具体信息。

自述文件

有关使用其他工具的最新信息，请阅读与该工具相关的自述文件，文件位于 MPLAB X IDE 安装目录的 Readme 子目录下。自述文件包含本用户指南中可能未提供的更新信息和已知问题。

有关使用汽车冷却风扇参考设计设置和运行电机控制应用的分步说明，请参见随电机控制应用程序代码提供的自述文件。

dsPIC33 系列参考手册

每个模块都有特定的系列参考手册（Family Reference Manual, FRM），这些手册介绍了 dsPIC® DSC MCU 系列架构和外设模块的工作方式。每个器件系列的具体信息在各自的数据手册中说明。

AN1292, 《利用 PLL 估算器和弱磁技术（FW）实现永磁同步电机（PMSM）的无传感器磁场定向控制（FOC）》（DS01292A_CN）

AN1299, 《PMSM 无传感器 FOC 的单分流三相电流重构算法》（DS01299A_CN）

可从 Microchip 网站（www.microchip.com）下载这些文档。

Microchip 网站

Microchip 网站 (www.microchip.com) 为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。可使用常用的互联网浏览器访问。网站提供以下信息：

- **产品支持** —— 数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持** —— 常见问题解答 (Frequently Asked Questions, FAQ)、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 顾问计划成员名单
- **Microchip 业务** —— 产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

产品变更通知服务

Microchip 的变更通知客户服务有助于客户了解 Microchip 产品的最新信息。注册客户可在他们感兴趣的某个产品系列或开发工具发生变更、更新、发布新版本或勘误表时，收到电子邮件通知。

访问 Microchip 网站 www.microchip.com，点击**支持 > 产品变更通知**，按照注册说明操作即可完成注册。

客户支持

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获得帮助：

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 公司应用工程师 (CAE)
- 嵌入式解决方案工程师 (ESE)
- 应用工程师 (FAE)

客户应联系其代理商、代表或 ESE 寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档最后附有销售办事处的联系方式。

也可通过以下网站获得技术支持：

<http://www.microchip.com/support>。

文档版本历史

版本 A (2023 年 1 月)

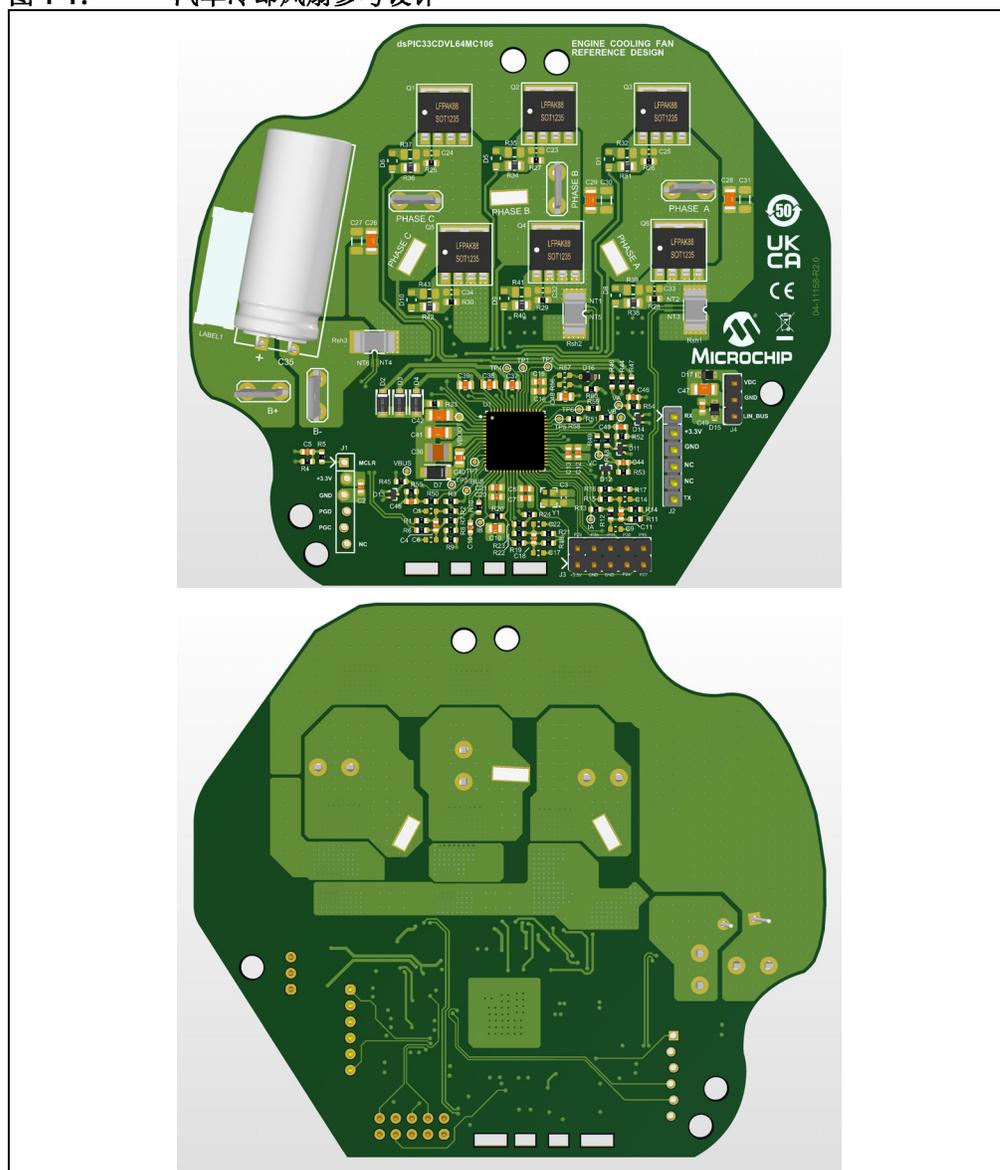
这是本文档的初始版本。

第 1 章 概述

1.1 简介

此参考设计是一个低成本的开发和评估平台，旨在驱动三相永磁同步或无刷直流汽车冷却风扇电机，该电机可通过 LIN 联网。该设计基于采用电机控制系统级封装（System in Package, SiP）的 Microchip dsPIC33CDVL64MC106。SiP 中包含 dsPIC33CK64MC105 DSC、带 LDO 的 MCP8021 三相 MOSFET 栅极驱动器和 ATA663211 LIN 收发器。

图 1-1: 汽车冷却风扇参考设计



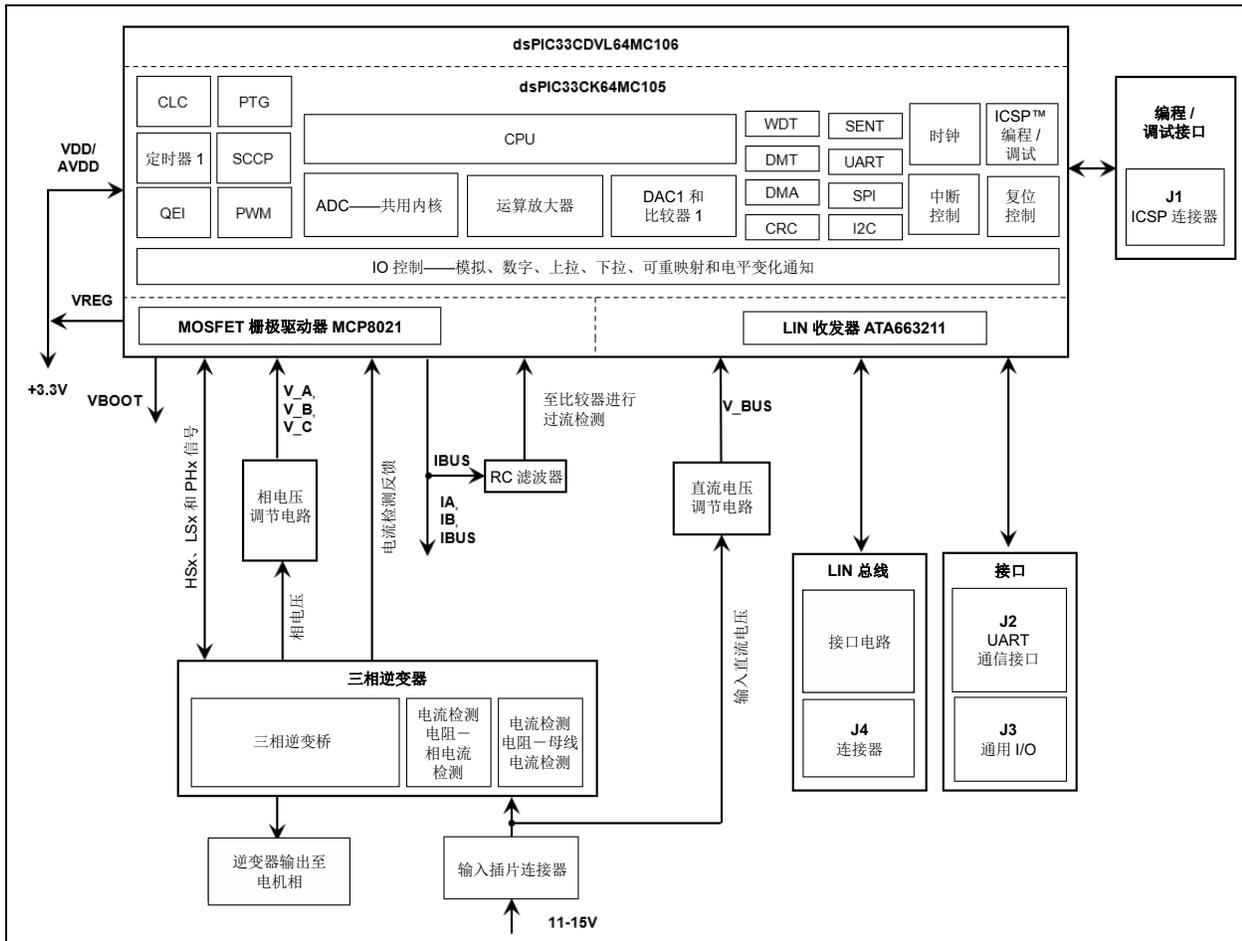
1.2 特性

参考设计的主要特性如下：

- 三相电机控制功率级
- 直流母线电流反馈，用于过流保护以及实现单电流检测电阻电流重构算法
- 直流母线电压反馈，用于过压保护
- 相电压反馈，用于实现无传感器反电动势控制或非零转速启动
- ICSP™ 连接器，用于连接 Microchip 编程器 / 调试器
- UART 通信连接器
- LIN 接口（LIN 收发器是 dsPIC33CDVL64MC106 的一部分）

图 1-2 给出了参考设计框图。

图 1-2: 框图



参考设计的各个硬件部分如图 1-3 所示，表 1-1 对此进行了总结。

图 1-3: 硬件部分

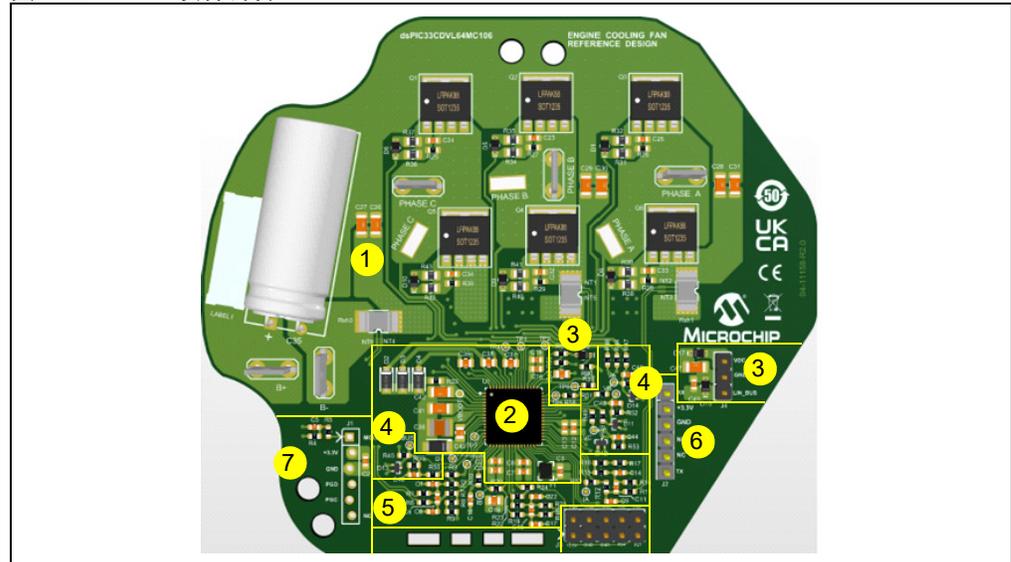


表 1-1: 硬件部分

部分	硬件部分
1	三相电机控制逆变器
2	dsPIC33CDVL64MC106 及相关电路
3	LIN 接口电路
4	直流母线和相电压检测电路
5	电流检测电路
6	UART 通信接口连接器
7	ICSP™ 连接器

注:

第 2 章 板上接口说明

2.1 简介

本章提供了汽车冷却风扇参考设计输入和输出接口的详细说明。其中涵盖以下主题：

- 板上连接器
- 测试点
- dsPIC DSC 的引脚功能

2.2 板上连接器

本节总结了参考设计中的连接器。这些连接器如图 2-1 所示，表 2-1 对此进行了总结。

图 2-1: 连接器——参考设计

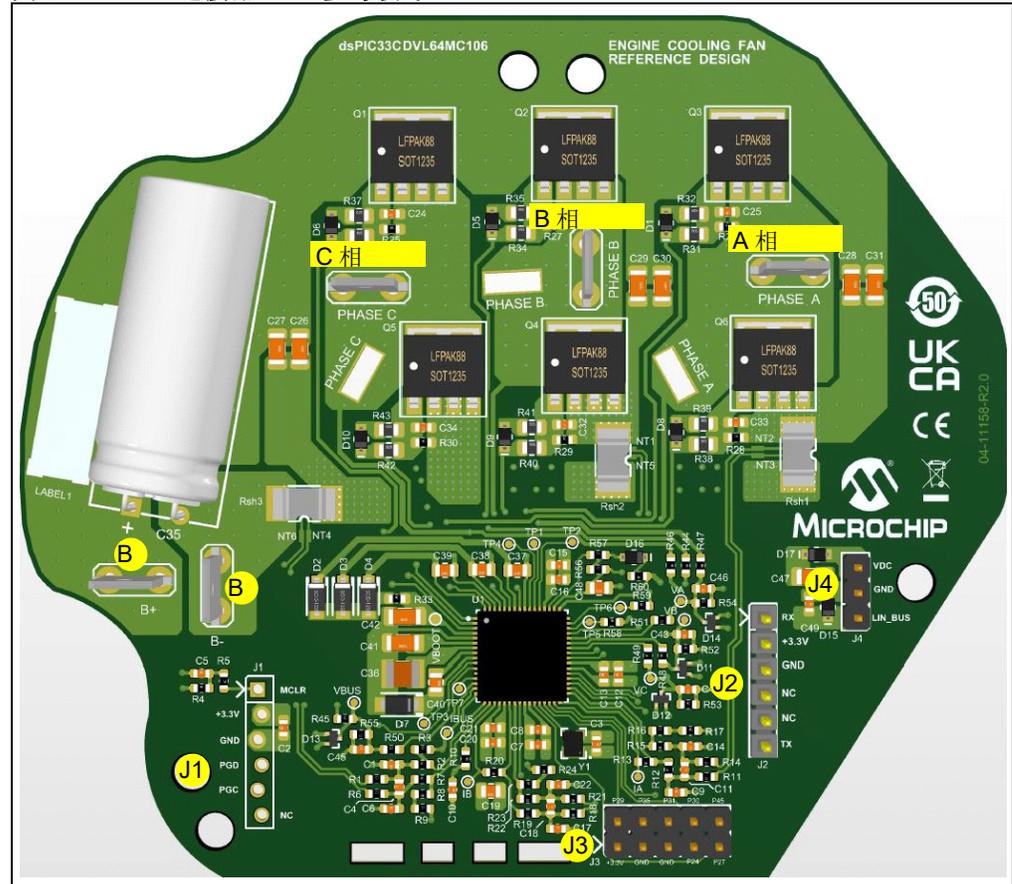


表 2-1: 连接器 —— 汽车冷却风扇参考设计

连接器标识符	引脚数	状态	说明
J1	6	未安装	ICSP™ 连接器 —— 将编程器 / 调试器连接到 dsPIC® DSC
J2	6	已安装	UART 通信连接器
J3	10	已安装	通用 I/O 连接器
J4	3	已安装	LIN 接口连接器
A 相、B 相和 C 相	3	已安装	三相逆变器输出
B+ 和 B-	2	已安装	输入直流电源插片连接器 (B+: 正极端子, B-: 负极端子)

2.2.1 编程器 / 调试器接口的 ICSP 连接器 (J1)

6 引脚连接器 J1 可与编程器 (例如 PICKIT™ 4) 连接, 用于对汽车冷却风扇参考设计进行编程和调试。该连接器默认情况下不安装。需要时, 安装部件编号为 68016-106HLF 的连接器或类似的连接器。表 2-2 给出了引脚的详细信息。

表 2-2: 引脚说明 —— 连接器 J1

引脚编号	信号名称	引脚说明
1	MCLR	器件主复位 (MCLR)
2	+3.3V	电源电压
3	GND	地
4	PGD	器件编程数据线 (PGD)
5	PGC	器件编程时钟线 (PGC)
6	无连接	—

2.2.2 UART 通信连接器 (J2)

6 引脚连接器 J2 可用于连接 USB 至 UART 转换器, 以利用 Microchip MPLAB X IDE 上提供的 X2C-Scope 插件等工具, 与主机 PC 建立串行通信, 从而实时调试或监控应用程序变量。表 2-3 给出了引脚的详细信息。

表 2-3: 引脚说明 —— 连接器 J2

引脚编号	信号名称	引脚说明
1	DEBUG_RX	连接至单片机引脚 37 (RP72/PCI19/SDO2/RD8)
2	+3.3V	电源电压
3	GND	地
4	无连接	—
5	无连接	—
6	DEBUG_TX	连接至单片机引脚 36 (RP57/ASCL1/SDI2/RC9)

2.2.3 通用 I/O 引脚（J3）

10 引脚连接器 J3 可用于访问单片机未使用的引脚以进行功能扩展或调试，表 2-4 给出了连接器 J3 引脚的详细信息。

表 2-4: 引脚说明 —— 连接器 J3

引脚编号	信号名称	引脚说明
1	+3.3V	电源电压
2	dsPIC 引脚 29	连接至单片机引脚 29 (OSCO/CLKO/AN6/RP33/RB1)
3	GND	地
4	dsPIC 引脚 35	连接至单片机引脚 35 (RP56/ASDA1/SCK2/RC8)
5	无连接	—
6	dsPIC 引脚 31	连接至单片机引脚 31 (ISRC2/RP55/RC7)
7	dsPIC 引脚 24	连接至单片机引脚 24 (IBIAS1/RP54/RC6)
8	dsPIC 引脚 30	连接至单片机引脚 30 (ISRC3/RP74/RD10)
9	dsPIC 引脚 27	连接至单片机引脚 27 (AN15/IBIAS2/RP51/RC3)
10	dsPIC 引脚 45	连接至单片机引脚 45 (RP52/RC4)

2.2.4 LIN 接口连接器（J4）

LIN（局域网）是一种低速串行网络协议，用于支持汽车网络。dsPIC33CDVL64MC106 集成了 LIN 收发器 ATA663211（物理层），这是 LIN 接口电路的重要组成部分。该参考设计包括一个 LIN 接口电路，可通过连接器 J4 连接到 LIN 网络。表 2-5 给出了引脚的详细信息。

表 2-5: 引脚说明 —— 连接器 J4

引脚编号	信号名称	引脚说明
1	VDC	LIN 电源
2	GND	地
3	LIN_BUS	LIN 总线输入 / 输出

2.2.5 三相逆变器输出

参考设计可以驱动三相 PMSM/BLDC 电机。表 2-6 给出了连接器的引脚分配。电机各相必须以正确的顺序连接到参考设计，以防止反转。

表 2-6: 引脚说明

引脚编号	引脚说明
A 相	逆变器的相 1 输出
B 相	逆变器的相 2 输出
C 相	逆变器的相 3 输出

2.2.6 输入直流电源插片连接器 (B+ 和 B-)

电路板设计为在 11V 至 15V 直流电压范围内工作，可通过连接器 B+ 和 B- 供电。表 2-7 给出了连接器的详细信息。

表 2-7: 引脚说明 —— 连接器 (B+ 和 B-)

引脚编号	引脚说明
B +	直流输入电源正极
B -	直流输入电源负极

2.3 测试点

参考设计上有几个测试点，用于监视各种信号，如相电压和电机电流等。这些测试点在图 2-2 中进行了标记，表 2-8 对此进行了总结。

图 2-2: 测试点 —— 参考设计

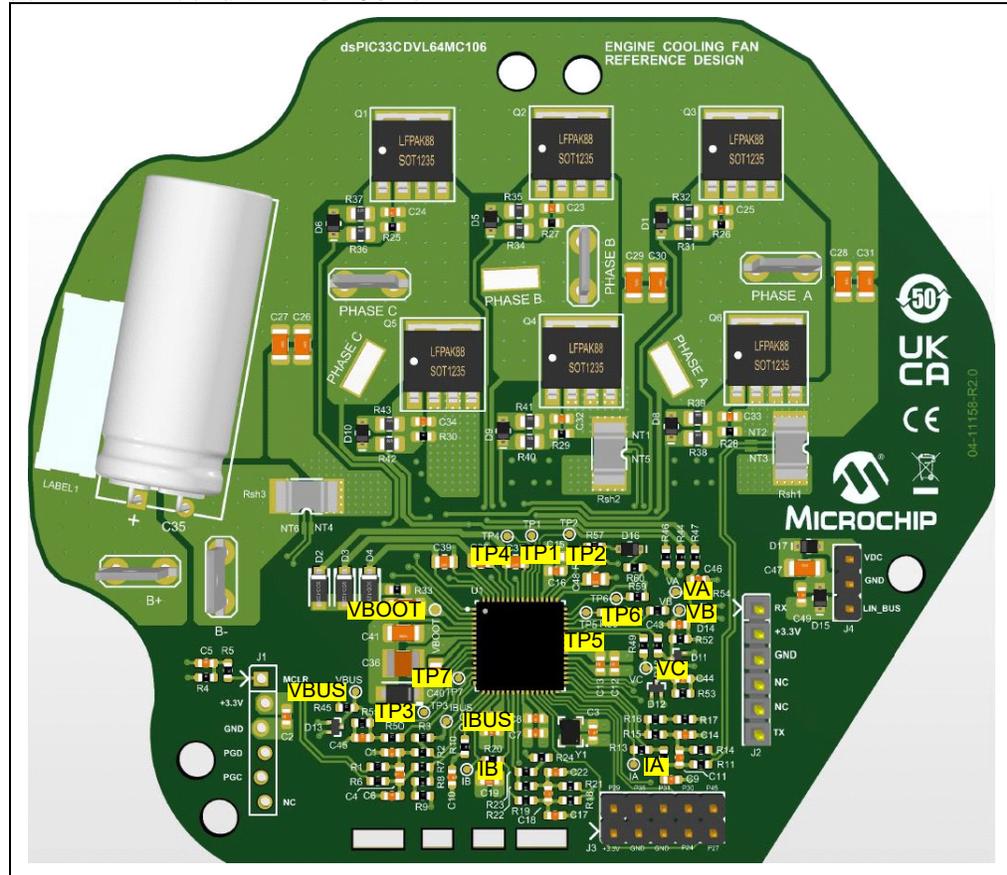


表 2-8: 测试点

测试点编号	信号	说明
IA	IA	逆变器的 A 相桥臂电流反馈 —— 内部放大器 (dsPIC33CDVL64MC106 运放 2) 输出
IB	IB	逆变器的 B 相桥臂电流反馈 —— 内部放大器 (dsPIC33CDVL64MC106 运放 3) 输出
IBUS	IBUS	逆变器的母线电流反馈 —— 内部放大器 (dsPIC33CDVL64MC106 运放 1) 输出
VA	VA	A 相电压反馈
VB	VB	B 相电压反馈
VC	VC	C 相电压反馈
VBUS	VBUS	直流母线电压反馈
VBOOT	VBOOT	集成 MOSFET 栅极驱动器 (U1B) 的 VBOOT 输出 —— 自举电源输出 (+12V)
TP1	TP1	连接至单片机引脚 54 (RB12/PWM2H)
TP2	TP2	连接至单片机引脚 53 (RB10/PWM3H)
TP3	TP3	连接至单片机引脚 10 (RB14/PWM1H)
TP4	WAKE	集成 MOSFET 栅极驱动器 (U1B) 的唤醒引脚
TP5	LIN_RXD	集成 LIN 收发器 (U1C) 的 RXD 引脚
TP6	LIN_WKIN	集成 LIN 收发器 (U1C) 的唤醒引脚
TP7	TP7	连接至单片机引脚 13 (ANN0/RP77/RD13)

2.4 dsPIC DSC 的引脚功能

板上 dsPIC33CDVL64MC106 器件可以通过其外设和 CPU 功能控制参考设计的各种特性和功能。dsPIC DSC 的引脚功能根据其功能分组，如表 2-9 所示。

表 2-9: dsPIC33CDVL64MC106 引脚功能

信号	dsPIC DSC 引脚编号	dsPIC DSC 引脚功能	dsPIC DSC 外设	备注
dsPIC DSC 配置 —— 电源、时钟、复位和编程				
+3.3V	25,39,52	VDD	电源	dsPIC DSC 的 +3.3V 数字电源
DGND	12,26,38	Vss		数字地
+3.3V	20	AVDD		dsPIC DSC 的 +3.3V 模拟电源
AGND	21	AVss		模拟地
CLKI	28	OSCI/CLKI/AN5/RP32/RB0	外部振荡器	连接到 MEMS 振荡器 (Y1) 的第 3 个引脚
MCLR	11	MCLR	复位	连接到 ICSP™ 连接器 (J1)
PGD	40	PGD3/RP37/RB5	在线串行编程 (ICSP) 或在线调试器	连接到 ICSP 连接器 (J1)
PGC	41	PGC3/RP38/RB6		
用于放大电流的 dsPIC DSC 内部放大器连接				
OA1IN+	17	OA1IN+/AN9/RA2	运算放大器 1 (运放 1) 和共用 ADC 内核	电流检测电阻 Rsh3 的差分电流反馈通过输入电阻连接到运放 1 的同相和反相输入。 运放 1 输出，即放大的母线电流。要使输出可用，请配置并使能运放 1。
OA1IN-	16	OA1IN-/RA1		
IBUS	15	OA1OUT/AN0/CMP1A/IBIAS0/RA0		
OA2IN+	34	PGC2/OA2IN+/RP36/RB4	运算放大器 2 (运放 2) 和共用 ADC 内核	电流检测电阻 Rsh1 的差分电流反馈通过输入电阻连接到运放 2 的同相和反相输入。 运放 2 输出，即放大的 A 相电流。要使输出可用，请配置并使能运放 2。
OA2IN-	33	PGD2/OA2IN-/AN8/RP35/RB3		
IA	32	OA2OUT/AN1/AN7/CMP1D RP34/INT0/RB2		
OA3IN+	23	OA3IN+/AN14/ISRC1/RP50/ RC2	运算放大器 3 (运放 3) 和共用 ADC 内核	电流检测电阻 Rsh2 的差分电流反馈通过输入电阻连接到运放 3 的同相和反相输入。 运放 3 输出，即放大的 B 相电流。要使输出可用，请配置并使能运放 3。
OA3IN-	22	OA3IN-/AN13/CMP1B/ISRC0/ RP49/RC1		
IB	19	OA3OUT/AN4/IBIAS3/RA4		

表 2-9: dsPIC33CDVL64MC106 引脚功能 (续)

信号	dsPIC DSC 引脚编号	dsPIC DSC 引脚功能	dsPIC DSC 外设	备注
过流检测和故障输出				
IBUS	18	DACOUT/AN3/CMP1C/RA3	高速模拟比较器 1 (CMP1) 和 DAC1	在连接到 CMP1 的正输入以进行过流检测之前, 对放大的母线电流进一步滤波。过流阈值通过 DAC1 进行设置。比较器输出在内部用作 PWM 发生器的故障输入, 无需 CPU 干预即可关断 PWM。
电压反馈				
V_BUS	14	AN12/RP48/RC0	共用 ADC 内核	直流母线电压反馈
V_A	44	PGC1/AN11/RP41/SDA1/RB9	共用 ADC 内核	A 相电压反馈
V_B	43	PGD1/AN10/RP40/SCL1/RB8	共用 ADC 内核	B 相电压反馈
V_C	42	TDO/AN2/RP39/RB7	共用 ADC 内核	C 相电压反馈
调试接口 (J2)				
DEBUG_RX	37	RP72/PC119/SDO2/RD8	I/O 和 UART 的可重映射功能	这些信号连接至连接器 J2, 以进行 UART 串行通信。
DEBUG_TX	36	RP57/ASCL1/SDI2/RC9		
通用 IO 连接器 (J3) 和测试点				
dsPIC 引脚 24	24	IBIAS1/RP54/RC6	通用 dsPIC DSC 引脚	这些信号连接至连接器 J3。
dsPIC 引脚 27	27	AN15/IBIAS2/RP51/RC3		
dsPIC 引脚 29	29	OSCO/CLKO/AN6/RP33/RB1		
dsPIC 引脚 30	30	ISRC3/RP74/RD10		
dsPIC 引脚 31	31	ISRC2/RP55/RC7		
dsPIC 引脚 35	35	RP56/ASDA1/SCK2/RC8		
dsPIC 引脚 45	45	RP52/RC4		
TP1	54	RB12/PWM2H	dsPIC DSC 引脚上的测试点	该引脚用作调试的测试点。
TP2	53	RB10/PWM3H		
TP3	10	RB14/PWM1H		
TP7	13	ANN0/RP77/RD13		

表 2-9: dsPIC33CDVL64MC106 引脚功能 (续)

信号	dsPIC DSC 引脚编号	dsPIC DSC 引脚功能	dsPIC DSC 外设	备注
dsPIC33CDVL64MC106 的集成式栅极驱动器 MCP8021 (U1B)				
VDC	7	HVDD	dsPIC33CDVL64MC106 的集成式栅极驱动器 (U1B)。这是 dsPIC33CDVL64MC106 的 B 部分。	有关更多详细信息, 请参见数据手册。
GND	5,66	HVSS		
	9	CAP1		
	8	CAP2		
DRV_VB OOT	4	VBOOT		
+3.3V	6	VREG		
TP4	55	WAKE		
	58	VBA		
	61	VBB		
	64	VBC		
PHASE_A	56	PHA		
PHASE_B	59	PHB		
PHASE_C	62	PHC		
	57	HSA		
	60	HSB		
	63	HSC		
	1	LSA		
	2	LSB		
	3	LSC		
dsPIC33CDVL64MC106 的集成式 LIN 收发器 ATA663211 (U1C)				
LIN_VS	50	LIN_VDD	dsPIC33CDVL64MC106 的集成式 LIN 收发器 (U1C)。这是 dsPIC33CDVL64MC106 的 C 部分。	有关更多详细信息, 请参见数据手册。
GND	48	LIN_VSS	dsPIC33CDVL64MC106 的集成式 LIN 收发器 (U1C)。这是 dsPIC33CDVL64MC106 的 C 部分。	
LIN_BUS	49	LIN_BUS		
LIN_INH	51	LIN_INH		
TP5	46	LIN_RXD		
TP6	47	LIN_WKIN		
GND	67	无连接		

附录 A 原理图和布线图

本附录提供了汽车冷却风扇参考设计的原理图和PCB布线图。该参考设计采用四层FR4 1.6 mm 电镀通孔（Plated-Through-Hole, PTH）结构。

A.1 原理图和布线图

表 A-1 总结了该参考设计的原理图。

表 A-1: 原理图

图索引	原理图编号	硬件部分
图 A-1	1/3	dsPIC33CDVL64MC106——dsPIC DSC（U1A）连接， ICSP™ 连接器 J1， dsPIC DSC 运算放大器，用于放大母线电流和相电流， UART 通信连接器 J2， 通用 I/O 连接器 J3
图 A-2	2/3	电机控制逆变器——三相 MOSFET 桥 dsPIC33CDVL64MC106——MOSFET 栅极驱动器（U1B）
图 A-3	3/3	dsPIC33CDVL64MC106——LIN 收发器（U1C）， LIN 接口电路， 直流母线电压检测电路， 相电压检测电路

表 A-2 总结了该参考设计的布线图。

表 A-2: PCB 层

图索引	说明
图 A-4	顶层：顶层丝印层和顶层覆铜
图 A-5	中层 1：覆铜
图 A-6	中层 2：覆铜
图 A-7	底层：底层丝印层和底层覆铜
图 A-8	PCB 3D 打印——顶层
图 A-9	PCB 3D 打印——底层

图 A-1: 原理图——第 1 页

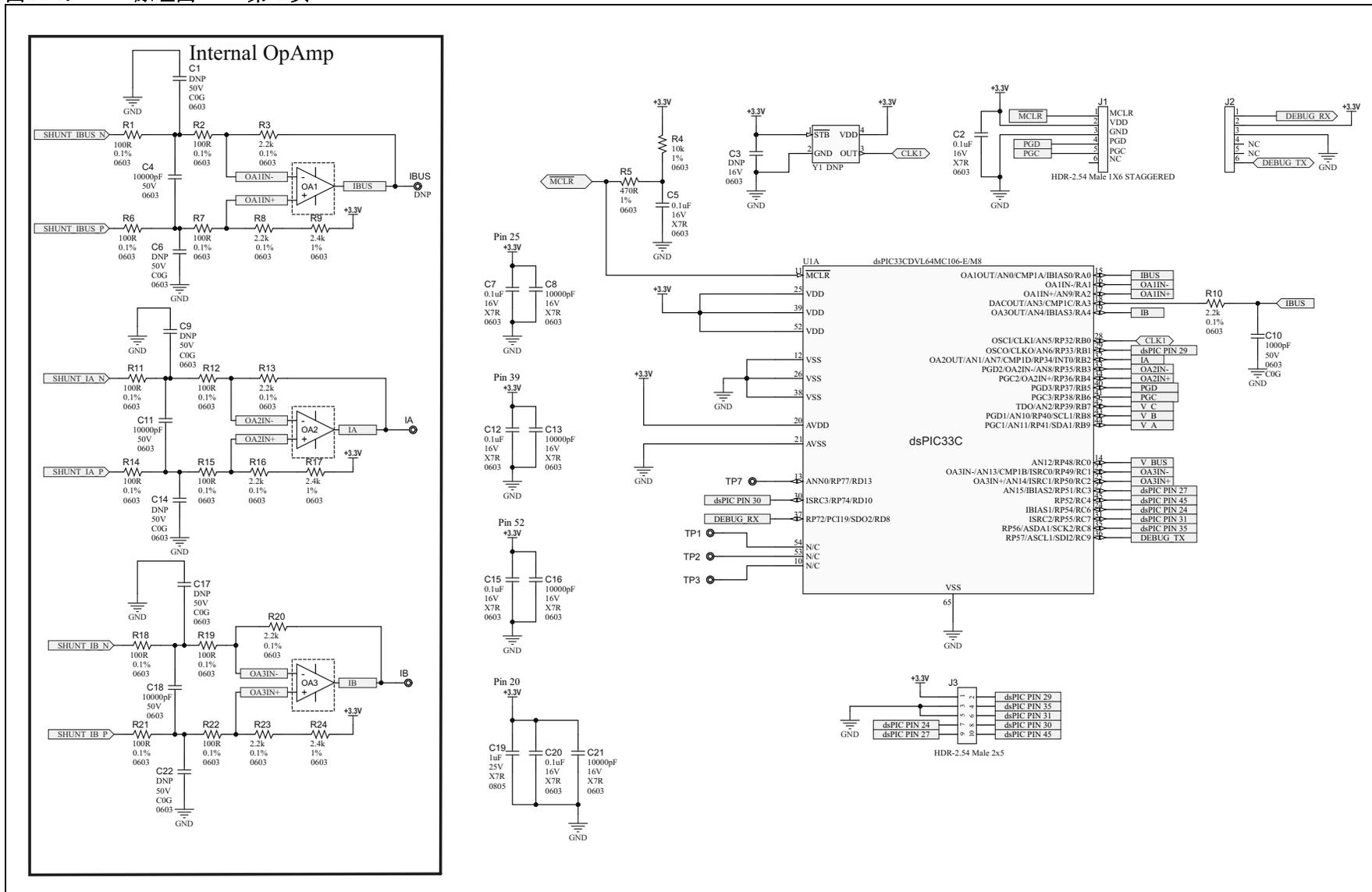


图 A-2: 原理图——第 2 页

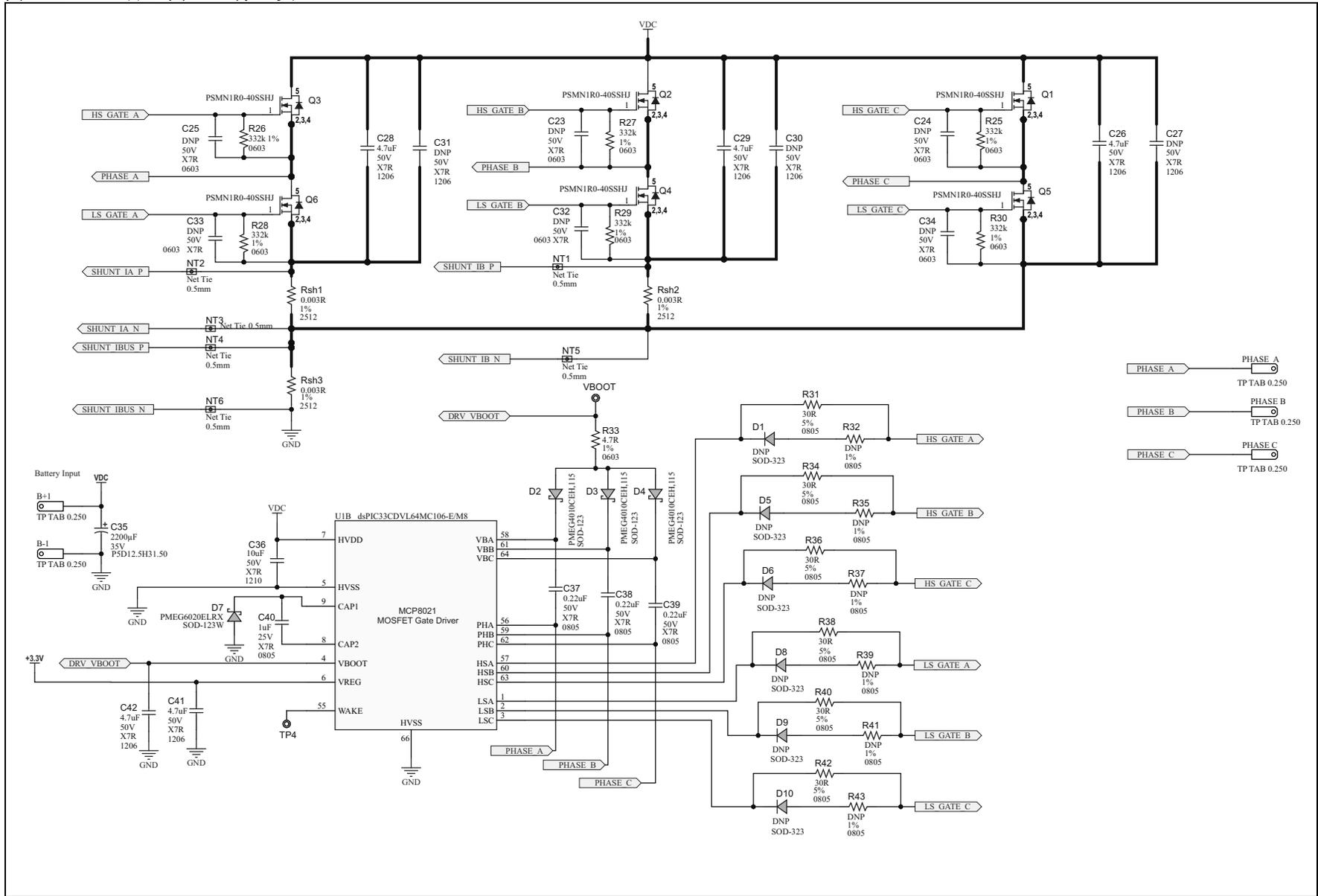


图 A-4: PCB——顶层丝印层和顶层覆铜

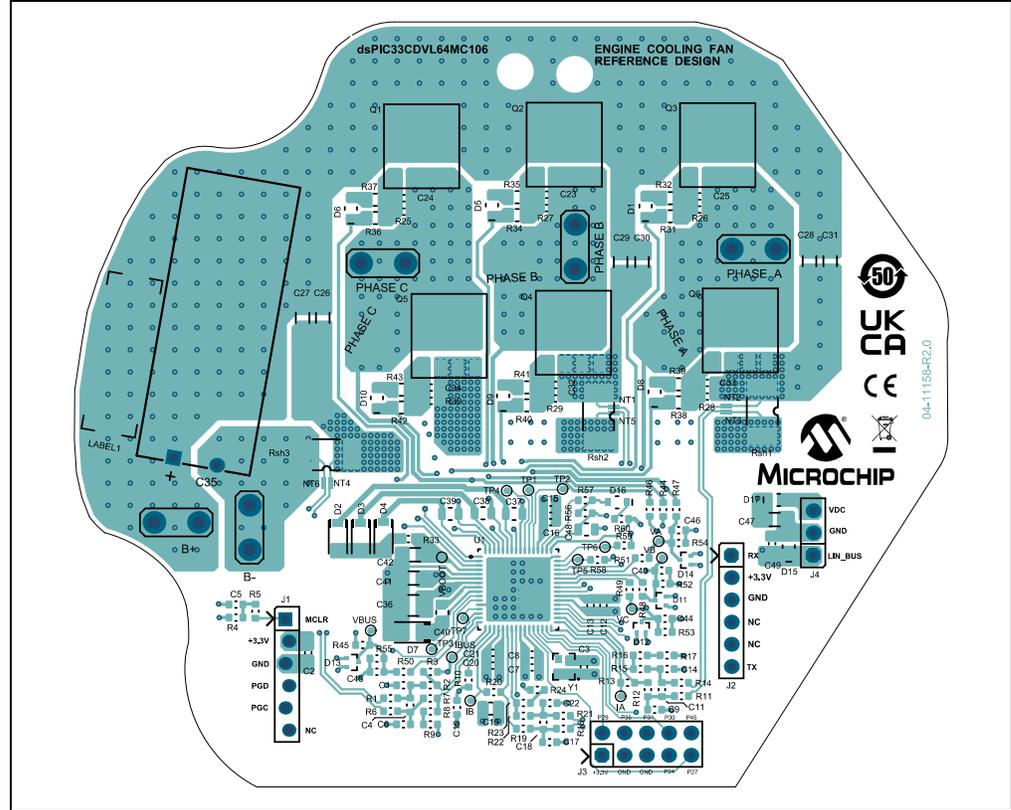


图 A-5: PCB——中层 1 覆铜

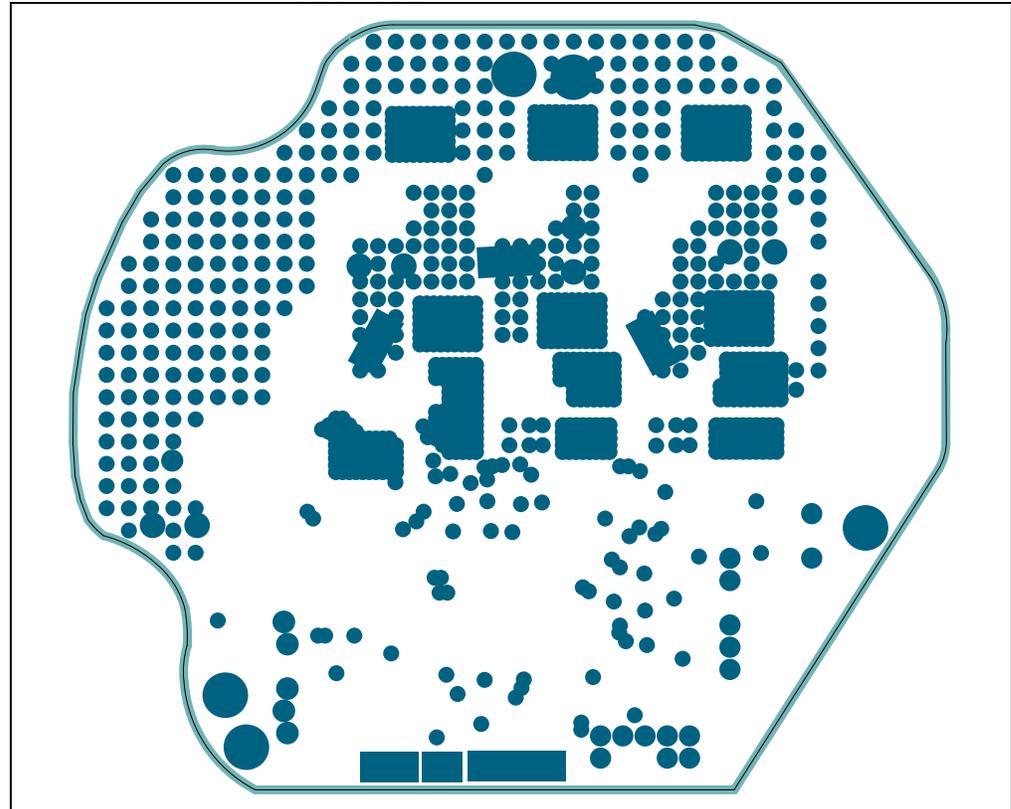


图 A-6: PCB——中层 2 覆铜

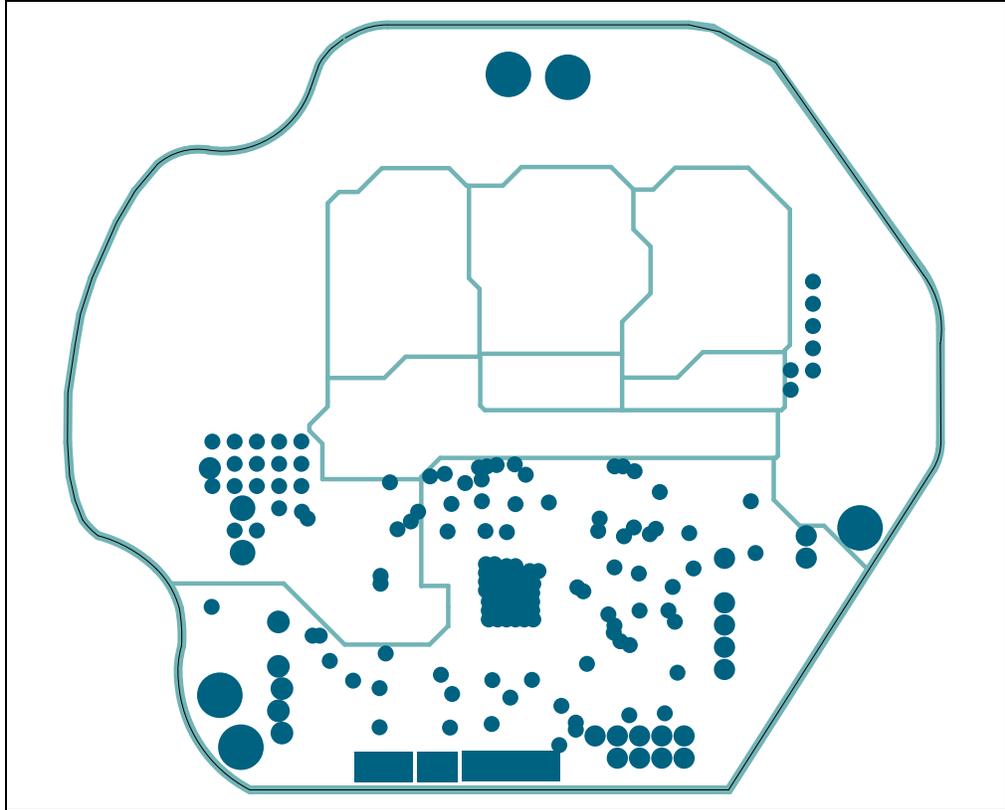


图 A-7: PCB——底层丝印层和底层覆铜

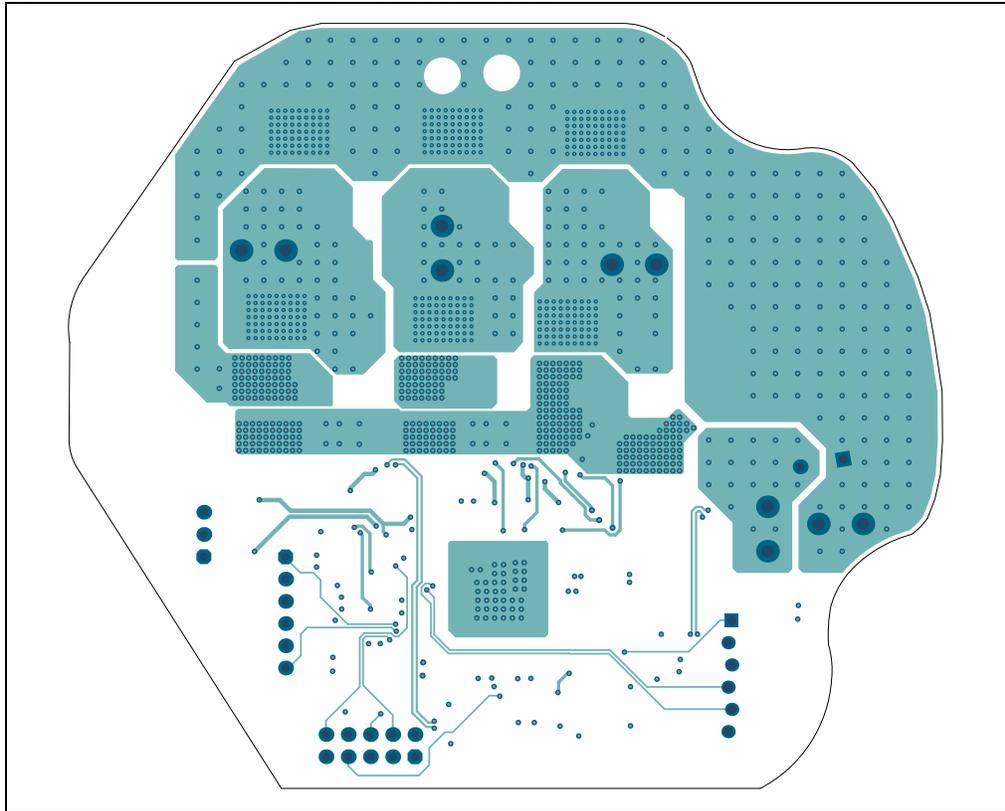


图 A-8: PCB——顶层

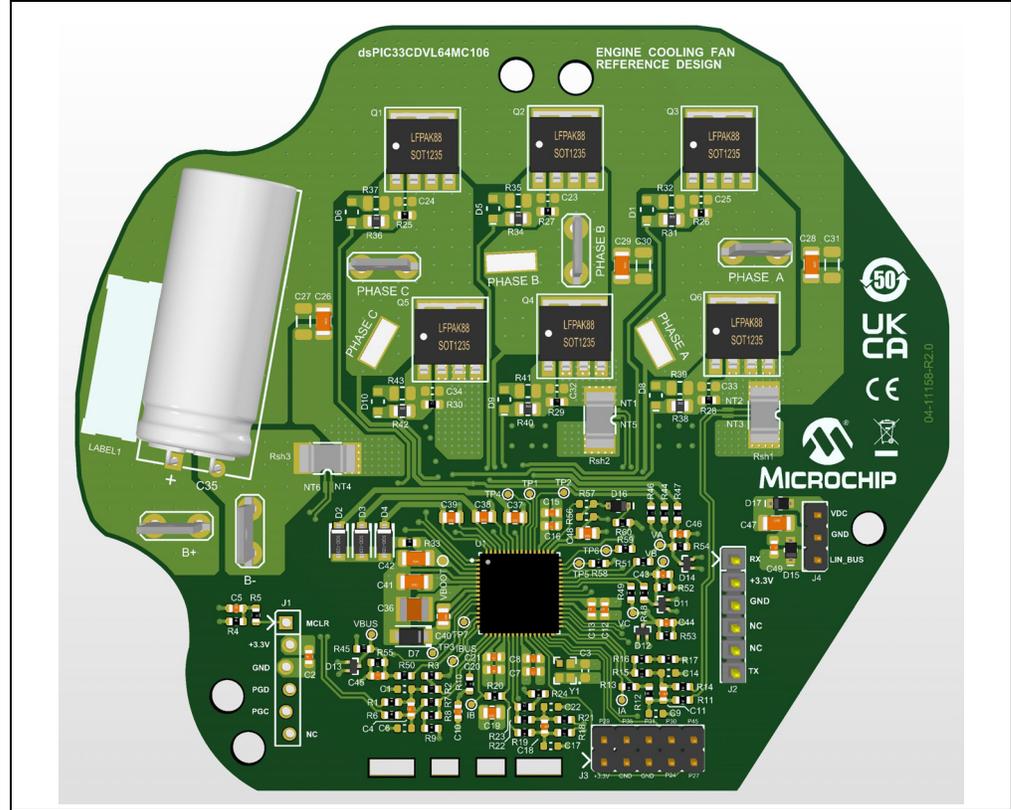
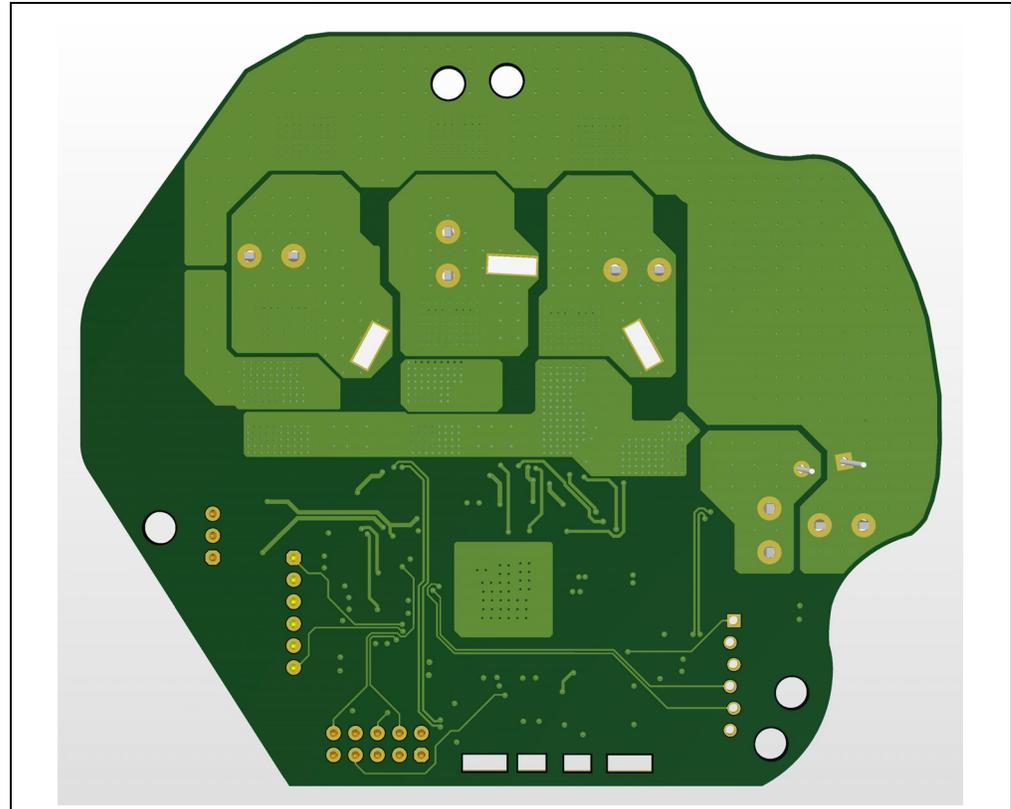


图 A-9: PCB——底层



注:

附录 B 电气规范

本附录提供了汽车冷却风扇参考设计的电气规范（见表 B-1）。

B.1 电气规范

表 B-1: 电气规范

参数	工作范围
输入直流电压	11-15V
绝对最大输入直流电压	20V
通过连接器 B+ 和 B- 的最大输入电流	15A
25°C 时每相的连续输出电流	20A (RMS)

- 注 1:** 在环境温度（+25°C）下，电路板在允许的电压范围内以每相最高 20A (RMS) 的连续输出电流运行以及安装在散热器上时，不会超过热限制。
- 2:** 在某些条件下（电机在弱磁控制期间失控、减速停止时在惯性负载下重启，或高速旋转时方向反转）转动电机可能会导致直流母线电压超过施加的输入直流电压（如果直流电源不能接收电流）。在此类条件下，请确保输入直流电压不超过规定的限值。超过规定的输入直流电压限制将会对电路板造成永久性损坏。

注:

附录 C 物料清单 (BOM)

本附录包含汽车冷却风扇参考设计的物料清单 (BOM)。

C.1 物料清单 (BOM)

表 C-1: 物料清单 (BOM)

数量	标识符	说明	制造商	制造商部件编号
5	B-, B+, PHASE A, PHASE B, PHASE C	0.250" (6.35mm) Quick Connect Male Solder Connector Non-Insu- lated	TE Connectivity AMP Connectors	1217861-1
7	C2, C5, C7, C12, C15, C20, C45	Capacitor Ceramic, 0.1uF, 16V, 10%, X7R, 0603	Taiyo Yuden	EMK107B7104KA-T
3	C4, C11, C18	Ceramic, 10000pF, 50V, 10%, X7R, 0603	Kyocera AVX	06035C103KAT4A
4	C8, C13, C16, C21	Capacitor Ceramic, 10000pF, 16V, 10%, X7R, 0603	Würth Elek- tronik	885012206040
4	C10, C43, C44, C46	Capacitor Ceramic, 1000pF, 50V, 5%, C0G, 0603	Kyocera AVX	06035A102JAT2A
2	C19, C40	Capacitor Ceramic, 1uF, 25V, 10%, X7R, 0805	Kyocera AVX	08053C105K4Z2A
6	C26, C28, C29, C41, C42, C47	Capacitor Ceramic, 4.7uF, 50V, 10%, X7R, 1206	TDK Corporation	C3216X7R1H475K160AC
1	C35	Capacitor Alumunium, 2200UF, 20%, 35V	United Chemi-Con	EGPD350ELL222MK30H
1	C36	Capacitor Ceramic, 10uF, 50V, 20%, X7R, 1210	TDK Corporation	C3225X7R1H106M250AC
3	C37, C38, C39	Capacitor Ceramic, 0.22uF, 50V, 10%, X7R, 0805	Murata Electronics	GCM21BR71H224KA37L
1	C48	Capacitor Ceramic, 0.1uF, 100V, 10%, X7R, 0805	Kyocera AVX	08051C104K4T2A
1	C49	Capacitor Ceramic, 220pF, 100V, 5%, C0G, 0603	KEMET	C0603C221J1GAC7867
3	D2, D3, D4	Diode Schottky, 40V, 1A, SOD-123F	Nexperia USA	PMEG4010CEH,115
1	D7	Diode Schottky, 760mV, 2A, 60V, SOD-123W	Nexperia USA	PMEG6020ELRX
4	D11, D12, D13, D14	Diode Array Schottky, 40V, 200mA, SOT-523	Diodes Incorporated	BAS40-04T-7-F
1	D15	Tvs Diode, 45V Clamp, 3A Ipp, SOD-323	Nexperia USA	PESD11VN27-AX
2	D16, D17	Diode Schottky, 1N4148, 855 mV, 300 mA, 75V, SOD-323	Diodes Incorporated	1N4148WS-7-F
1	J1	Header, 2.54, Male, 1x6, Through-Hole, Vertical	Amphenol ICC (FCI)	10129378906001BLF

表 C-1: 物料清单 (BOM) (续)

数量	标识符	说明	制造商	制造商部件编号
1	J2	Header, 2.54, Male, 1x6, Through-Hole, Vertical	Amphenol ICC (FCI)	10129378906001BLF
1	J3	Header, 2.54, Male, 2x5, Through-Hole, Vertical	Sullins Connector Solutions	PEC05DAAN
1	J4	Header, 2.54, Male, 1x3, Through-Hole, Vertical	Samtec	TSW-103-07-T-S
6	Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6	N-Channel MOSFET, 40 V, 325A (Ta), 1mOhm @ 25A, LFPAK88	Nexperia USA	PSMN1R0-40SSHJ
12	R1, R2, R6, R7, R11, R12, R14, R15, R18, R19, R21, R22	Resistor, 100R, 0.1%, 1/10W, 0603	Panasonic Electronic Components	ERA-3AEB101V
7	R3, R8, R10, R13, R16, R20, R23	Resistor, 2.2k, 0.1%, 1/10W, 0603	Susumu	RG1608P-222-B-T5
2	R4, R59	Resistor, 10k, 1%, 1/16W, 0603	TE Connectivity Passive Product	CPF0603F10KC1
1	R5	Resistor, 470R, 1%, 1/10W, 0603	Yageo	RC0603FR-07470RL
3	R9, R17, R24	Resistor, 2.4k, 1%, 1/10W, 0603	Yageo	RC0603FR-072K4L
6	R25, R26, R27, R28, R29, R30	Resistor, 332k, 1%, 1/10W, 0603	Panasonic Electronic Components	ERJ-3EKF3323V
6	R31, R34, R36, R38, R40, R42	Resistor, 30R, 5%, 1/8W, 0805	Yageo	9C08052A30R0JLHFT
1	R33	Resistor, 4.7R, 1%, 1/10W, 0603	Vishay Dale	CRCW06034R70FNEA
4	R44, R45, R46, R47	Resistor, 18k, 1%, 1/10W, 0603	Panasonic Electronic Components	ERJ-3EKF1802V
4	R48, R49, R50, R51	Resistor, 100R, 1%, 1/10W, 0603	Panasonic Electronic Components	ERJ-3EKF1000V
4	R52, R53, R54, R55	Resistor, 1.8k, 1%, 1/10W, 0603	Panasonic Electronic Components	ERJ-3EKF1801V
1	R58	Resistor, 2.7k, 1%, 1/10W, 0603	Panasonic Electronic Components	ERJ-3EKF2701V
1	R60	Resistor, 1k, 1%, 1/10W, 0603	Panasonic Electronic Components	ERJ3EKF1001V
3	Rsh1, Rsh2, Rsh3	Shunt Resistor, 0.003R, 1%, 4W, 2512	Vishay Dale	WSLF25123L000FEA
1	U1	MCU, 16-Bit, 64 kBytes, 100 MIPS, dsPIC33CDVL64MC106-E/M8, QFN-64	Microchip Technology	dsPIC33CDVL64MC106-E/M8

附录 D 测试结果

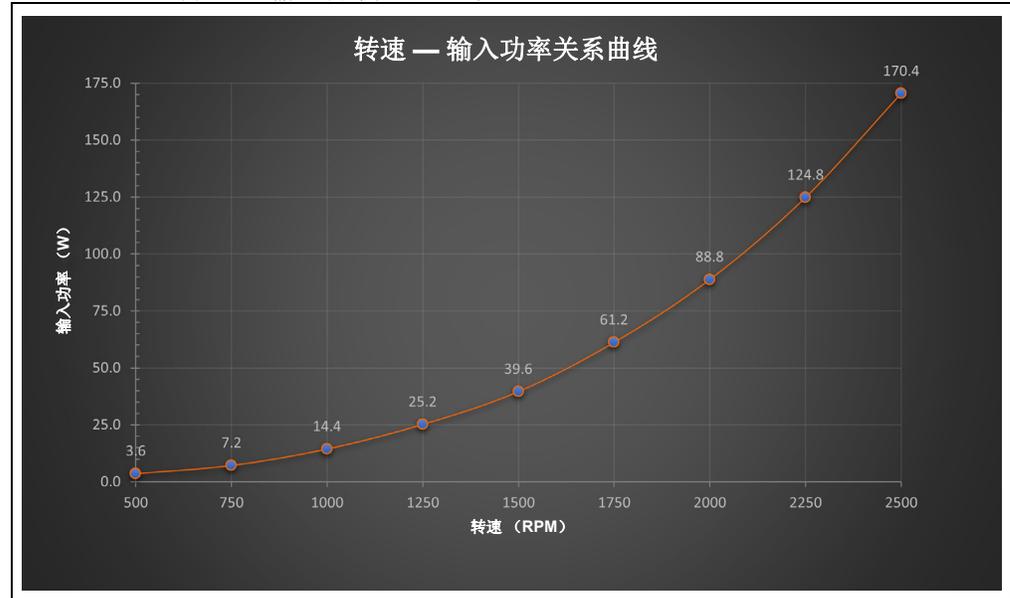
为表征汽车冷却风扇参考设计，使用 12V 和八极的三相 PMSM 汽车冷却风扇电机进行测试。表 D-1 总结了测试结果。图 D-1 显示了转速与输入功率的关系曲线。

D.1 转速 — 输入功率关系曲线

表 D-1: 转速 — 输入功率关系曲线

直流输入电压 (V)	转速 (RPM)	直流输入电流 (A)	直流输入功率 (W)
12 VDC	500	0.3	3.6
	750	0.6	7.2
	1000	1.2	14.4
	1250	2.1	25.2
	1500	3.3	39.6
	1750	5.1	61.2
	2000	7.4	88.8
	2250	10.4	124.8
	2500	14.2	170.4

图 D-1: 转速 — 输入功率关系曲线



注:

全球销售及服务中心

美洲

公司总部 **Corporate Office**
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:
<http://www.microchip.com/support>

网址: www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta
Duluth, GA
Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

奥斯汀 Austin, TX
Tel: 1-512-257-3370

波士顿 Boston
Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 Chicago
Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

达拉斯 Dallas
Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 Detroit
Novi, MI
Tel: 1-248-848-4000

休斯敦 Houston, TX
Tel: 1-281-894-5983

印第安纳波利斯 Indianapolis
Noblesville, IN
Tel: 1-317-773-8323
Fax: 1-317-773-5453
Tel: 1-317-536-2380

洛杉矶 Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608
Tel: 1-951-273-7800

罗利 Raleigh, NC
Tel: 1-919-844-7510

纽约 New York, NY
Tel: 1-631-435-6000

圣何塞 San Jose, CA
Tel: 1-408-735-9110
Tel: 1-408-436-4270

加拿大多伦多 Toronto
Tel: 1-905-695-1980
Fax: 1-905-695-2078

亚太地区

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588

中国 - 东莞
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 广州
Tel: 86-20-8755-8029

中国 - 杭州
Tel: 86-571-8792-8115

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355

中国 - 上海
Tel: 86-21-3326-8000

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200

中国 - 苏州
Tel: 86-186-6233-1526

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-577-8366

亚太地区

澳大利亚 Australia - Sydney
Tel: 61-2-9868-6733

印度 India - Bangalore
Tel: 91-80-3090-4444

印度 India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631

印度 India - Pune
Tel: 91-20-4121-0141

日本 Japan - Osaka
Tel: 81-6-6152-7160

日本 Japan - Tokyo
Tel: 81-3-6880-3770

韩国 Korea - Daegu
Tel: 82-53-744-4301

韩国 Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200

马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-7651-7906

马来西亚 Malaysia - Penang
Tel: 60-4-227-8870

菲律宾 Philippines - Manila
Tel: 63-2-634-9065

新加坡 Singapore
Tel: 65-6334-8870

泰国 Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351

越南 Vietnam - Ho Chi Minh
Tel: 84-28-5448-2100

欧洲

奥地利 Austria - Wels
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦 Denmark - Copenhagen
Tel: 45-4485-5910
Fax: 45-4485-2829

芬兰 Finland - Espoo
Tel: 358-9-4520-820

法国 France - Paris
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 Germany - Garching
Tel: 49-8931-9700

德国 Germany - Haan
Tel: 49-2129-3766400

德国 Germany - Heilbronn
Tel: 49-7131-72400

德国 Germany - Karlsruhe
Tel: 49-721-625370

德国 Germany - Munich
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

德国 Germany - Rosenheim
Tel: 49-8031-354-560

以色列 Israel - Ra'anana
Tel: 972-9-744-7705

意大利 Italy - Milan
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

意大利 Italy - Padova
Tel: 39-049-7625286

荷兰 Netherlands - Drunen
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

挪威 Norway - Trondheim
Tel: 47-7288-4388

波兰 Poland - Warsaw
Tel: 48-22-3325737

罗马尼亚 Romania - Bucharest
Tel: 40-21-407-87-50

西班牙 Spain - Madrid
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

瑞典 Sweden - Gothenberg
Tel: 46-31-704-60-40

瑞典 Sweden - Stockholm
Tel: 46-8-5090-4654

英国 UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820