



高性能电动滑板车  
BLDC 电机驱动器  
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中。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 <https://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, 不得暗中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](http://www.microchip.com/quality)。

## 商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Adaptec、AnyRate、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、APT、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Flashtec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、TrueTime、WinPath 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、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、GridTime、IdealBridge、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、Knob-on-Display、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、NVM Express、NVMe、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICKit、PICKit、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SmartHLS、SMART-I.S.、storClad、SQL、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、TSHARC、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、Symmcom 和 Trusted Time 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。

© 2022, Microchip Technology Incorporated 及其子公司版权所有。  
ISBN: 978-1-5224-9653-3

## 目录

前言 .....	5
简介 .....	5
文档编排 .....	5
本指南使用的约定 .....	6
推荐读物 .....	7
Microchip 网站 .....	7
客户支持 .....	7
文档版本历史 .....	8
第1章 产品概述 .....	9
1.1 简介 .....	9
1.2 系统概述 .....	9
1.3 高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计介绍 .....	9
1.4 高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计工具包内容 .....	11
第2章 安装和操作 .....	13
2.1 入门 .....	13
附录A 原理图和布线图 .....	17
A.1 简介 .....	17
A.2 原理图1 .....	18
A.3 原理图2 .....	19
A.4 原理图3 .....	20
A.5 电路板——顶层丝印层 .....	21
A.6 电路板——顶层覆铜和丝印层 .....	21
A.7 电路板——顶层覆铜 .....	22
A.8 电路板——内层覆铜1 .....	22
A.9 电路板——内层覆铜2 .....	23
A.10 电路板——底层覆铜 .....	23
A.11 电路板——底层覆铜和丝印层 .....	24
A.12 电路板——底层丝印层 .....	24
附录B 物料清单 (BOM) .....	25
附录C 测试报告 (波形) .....	29
C.1 测试条件 .....	29
C.2 效率 .....	29
C.3 典型波形 .....	30
C.4 热测量 .....	34

# 高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计用户指南

---

全球销售及服务网点 .....36

## 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](http://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MPLAB® IDE在线帮助。从Help（帮助）菜单选择Topics（主题），打开现有在线帮助文件列表。

### 简介

本章包含使用高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计前需要了解的一般信息。内容包括：

- [文档编排](#)
- [本指南使用的约定](#)
- [推荐读物](#)
- [Microchip网站](#)
- [客户支持](#)
- [文档版本历史](#)

### 文档编排

本文档介绍了如何使用高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计。文档内容编排如下：

- **第1章“产品概述”**——有关高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计的重要信息。
- **第2章“安装和操作”**——本章包含评估板各项功能的详细说明以及高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计的入门使用说明。
- **附录A“原理图和布线图”**——给出了高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计的原理图和PCB布线图。
- **附录B“物料清单（BOM）”**——列出了用于构建高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计用户指南的器件。
- **附录C“测试报告（波形）”**——介绍高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计的各种演示波形。

# 高性能电动滑板车 BLDC 电机驱动器参考设计用户指南

## 本指南使用的约定

本指南采用以下文档约定：

### 文档约定

说明	表示	示例
<b>Arial 字体：</b>		
斜体字	参考书目	<i>MPLAB<sup>®</sup> IDE User's Guide</i>
	需强调的文字	<i>..... 为仅有的编译器 .....</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”
带右尖括号且下有划线的斜体文字	菜单路径	<i>File&gt;Save</i>
粗体字	对话框按钮	单击 <b>OK</b>
	选项卡	单击 <b>Power</b> 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>
<b>Courier New 字体：</b>		
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

本用户指南介绍了如何使用高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计。下面列出了其他有用的文档。以下Microchip文档均已提供，并建议读者作为补充参考资料。

- **dsPIC33CK64MC105 系列数据手册**——《具有高速ADC、运算放大器、比较器和高速PWM的16位数字信号控制器》（DS70005399C\_CN）
- **dsPIC33CK64MC105 Family Silicon Errata and Data Sheet Clarification**（DS80000910）
- **dsPIC33CK64MP105 系列数据手册**——《具有高速ADC、运算放大器、比较器和高分辨率PWM的16位数字信号控制器》（DS70005363D\_CN）
- **dsPIC33CK64MP105 Family Silicon Errata and Data Sheet Clarification**（DS80000809）
- **AN1078**——《PMSM电机的无传感器磁场定向控制》（DS01078B\_CN）
- **AN1299**——《PMSM无传感器FOC的单分流三相电流重构算法》（DS01299A\_CN）
- **AN992**——《用dsPIC30F2010控制无传感器BLDC电机》（DS00992A\_CN）
- **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）
- **AN901**——《dsPIC30F在无传感器BLDC控制中的应用》（DS00901A\_CN）

## MICROCHIP 网站

Microchip网站（[www.microchip.com](http://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。只要使用常用的互联网浏览器即可访问，网站提供以下内容：

- **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（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

## 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
- 应用工程师（CAE）
- 应用工程师（ESE）

客户应联系其代理商、代表或应用工程师（ESE）寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档后附有销售办事处的联系方式。

# 高性能电动滑板车 BLDC 电机驱动器参考设计用户指南

---

也可通过 <http://microchip.com/support> 获得网上技术支持。

## 文档版本历史

### 版本 A（2021 年 7 月）

- 本文档的初始版本。



## 第1章 产品概述

### 1.1 简介

本章提供高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计的概述，涵盖以下主题：

- 系统概述
- 高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计介绍
- 高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计工具包内容

### 1.2 系统概述

高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计面向高性能的经济高效型电机控制应用：例如低功耗电动车解决方案（电动滑板车和电动自行车等）应用。高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计能够驱动最高350W功率和15A RMS相电流的BLDC/PMSM电机。输入电压范围为18V至42V，涵盖最多10S锂离子电池供电应用。

### 1.3 高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计介绍

高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计是一款高性能BLDC/PMSM电机驱动器板，用于演示dsPIC33CK高性能数字信号控制器（Digital Signal Controller, DSC）与MIC4104（MOSFET栅极驱动器）配合使用时所提供的功能，适用于电动滑板车和电动自行车等电机控制应用。该电路板旨在满足现代电机控制应用的严苛要求：高效、小巧尺寸、低成本和高性能。

#### 1.3.1 主要特性

- 18V至42V  $V_{BUS}$  输入电压范围（涵盖最多10S电池配置）
- 最大输出功率：350W
- 15A RMS（连续）和最高27A RMS（短时）电机相电流
- 逆变器各相均有下桥臂电流检测电阻（2 m $\Omega$ ），用于测量电流
- PWM开关频率范围：8 kHz-50 kHz（典型值为20 kHz）
- 基于MCP16331降压稳压器的板上偏置发生器
- 六个具有低 $R_{DS(on)}$ （典型值为1.9 m $\Omega$ ）的N沟道MOSFET
- 用于电机各相的快接插片连接器
- XT30——便于连接电池组的连接器类型
- 支持有传感器/无传感器电机控制算法
- PICkit™ 调试器/编程器接口
- 支持板上温度测量（NTC热敏电阻）
- 辅助连接器（用于I<sup>2</sup>C、UART、油门（加速）、电压监视、蓝牙和温度等定制功能）

# 高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计用户指南

高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计框图如图1-1所示。其中包含以下几个功能模块：

- 包含半桥栅极驱动器和MOSFET的三相逆变器级
- 系统偏置发生器（MCP16331（12V）、MCP1754S（5V）和MCP1754S（3.3V））
- 基于dsPIC33CK DSC的数字控制系统
- BEMF和电机相电流检测
- 霍尔传感器接口
- 辅助连接器

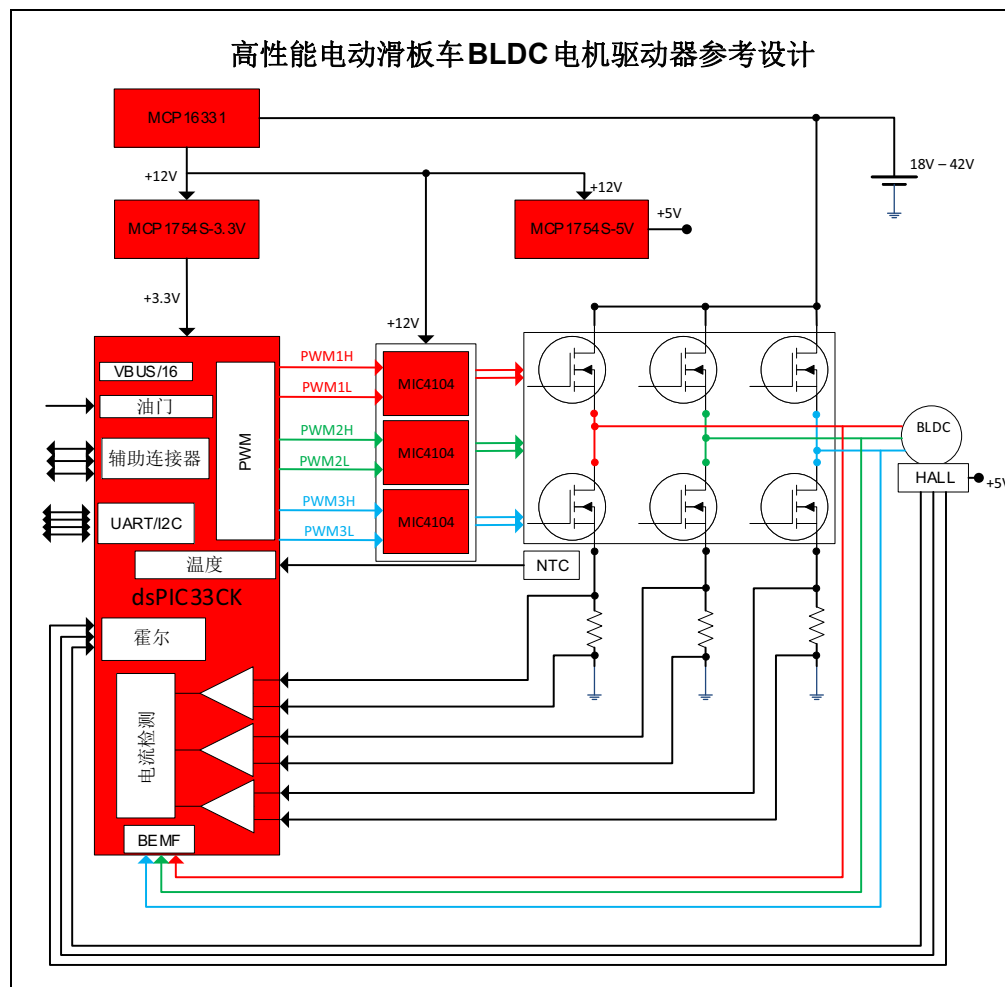


图1-1： 高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计框图

三相逆变器使用六个 $R_{DS(on)}$ 极低的高性能MOSFET晶体管实现，能够处理较高的相电流，同时不会产生过多的导通损耗。这些MOSFET由MIC4104高电流MOSFET驱动器驱动，其温度可使用NTC热敏电阻监视。

系统偏置发生器为各个功能模块提供偏置电压：MOSFET驱动器为+12V，数字控制系统为+3.3V，霍尔传感器接口等辅助功能为+5V。+12V由MCP16331开关稳压器提供。+3.3V（用于DSC）由MCP1754S-3 LDO提供，+5V电压由MCP1754S-5提供。

数字控制系统使用dsPIC33CK64MP105高性能DSC。该DSC还包含三个运算放大器，用于实现电流检测放大器。三个2 mΩ的下桥臂电流检测电阻用于测量相电流。

电机的BEMF使用三个电阻分压器测量。几个辅助连接器用于霍尔传感器和其他功能（通信接口和油门键等）。

## 1.4 高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计工具包内容

高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计包含：

- 高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计（INT01156）

注:

---

## 第2章 安装和操作

---

### 2.1 入门

高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计是一款功能完备的独立电机控制器，适用于无刷直流电机（PMSM/BLDC）。该电路板经过完全装配和测试，可驱动三相无刷直流电机（最高15A RMS相电流额定值和42V电压额定值）。

输入电压（+18V至+42V）通过J5连接器（XT30U-M型）施加于电路板。电机使用三个6.3 x 0.8 mm的快接插片连接器（J6、J7和J8）连接到驱动器。电机的霍尔传感器使用5引脚插座连接器连接到J1。

插针连接器J3包含的六条线可用于实现其他功能，例如：提供信号、检测各种信号、读取电位器/油门键以获取参考速度/转矩等。该连接器上还提供+3.3V电压和GND。

5引脚2.54 mm编程插针连接器（J2）用于通过PICKit编程器/调试器更新dsPIC33CK DSC中包含的固件。

要实现UART和I<sup>2</sup>C外部通信，用户可连接一个6引脚插针连接器（J4）以使用串行通信接口。可提供的信号包括Rx、Tx、SCL、SDA、+3.3V和GND信号。

高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计提供电源轨LED指示灯（D12和D13）以及故障状态LED指示灯（D11）。

电路板的温度主要可通过位于逆变器MOSFET桥上的NTC热敏电阻（TH1）监视。

最后，提供了PCB布线设计，供客户作为参考，以实现稳健、低成本、60 x 50 mm、+12V至+42V输入V<sub>BUS</sub>电压和高电流的小型四层电路板。

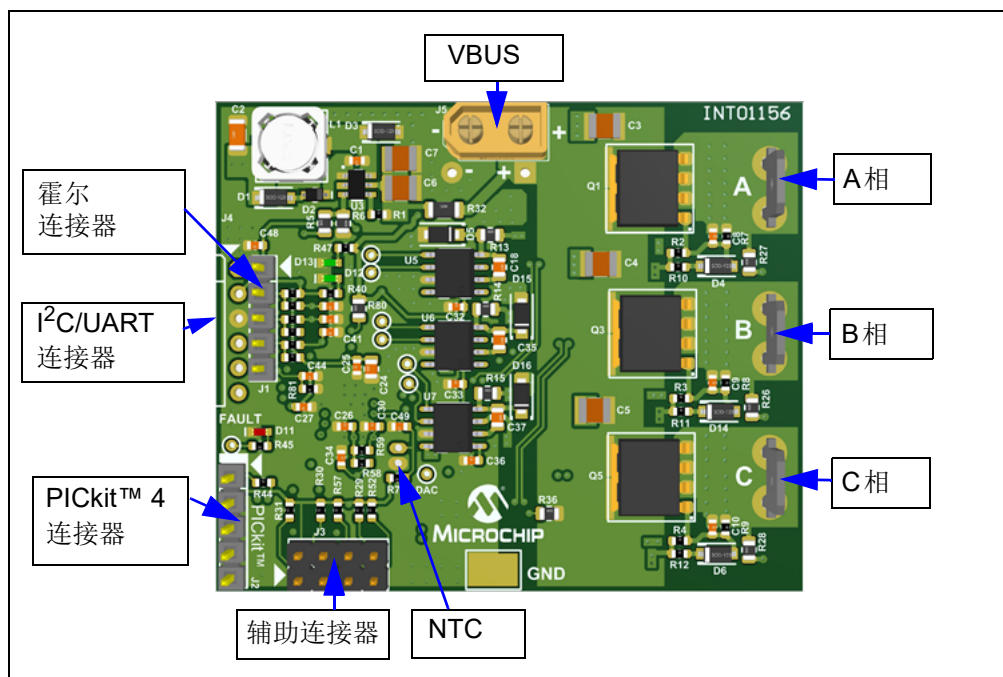


图2-1: 电路板俯视图

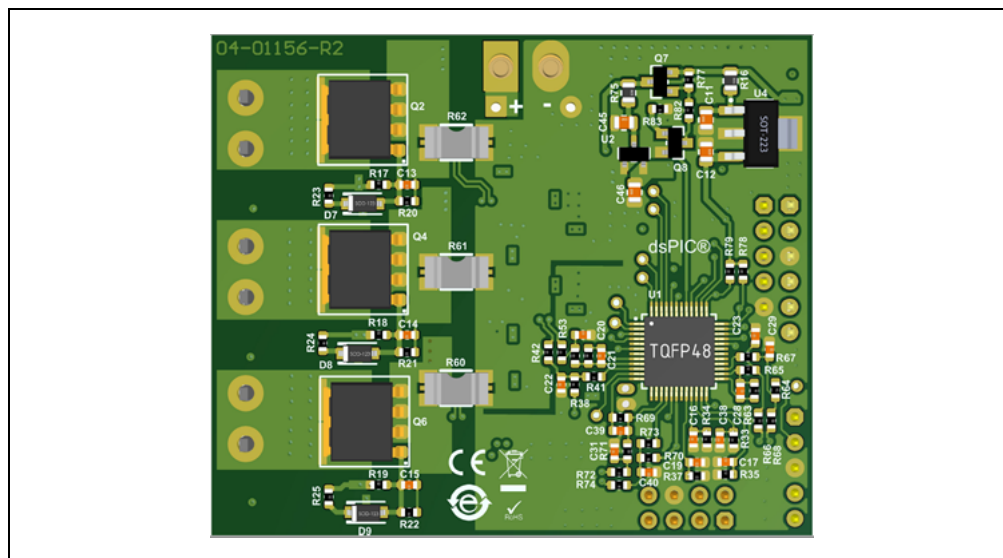


图2-2: 电路板仰视图

## 2.1.1 仪器和工具

需要使用以下仪器和工具:

- 具有 18V-42V/30A 直流范围输出能力的可调直流电源，或具有 18V 至 36V 标称电压的电池
- 带/不带霍尔传感器的 36V/350W 三相 PMSM/BLDC 电机
- 用于速度控制的 10 kΩ 电位器
- 连接线；这些线必须能承受高电流：
  - 可调直流电源与电路板之间的连接能承受 30A
  - 电路板与电机之间的连接能承受 30A

- 用于编程和调试应用程序的PICkit 4
- 安装了MPLAB® X IDE或MPLAB X IPE的计算机
- 数字示波器和万用表

可按照以下说明设置电位器的连接线。

## 2.1.2 设置步骤

要为高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计上电，必须完成以下步骤：

1. 使用A、B和C连接器将电机连接到电路板
2. 将电源按照相应极性连接到J5连接器板并选择18V至42V的电压输入范围。
3. 将电机霍尔传感器按照相应极性连接到板上J1连接器。
4. 按照图2-3中的设置将电位器连接到板上辅助连接器。
5. 为电路板上电。
6. 开始使用电位器控制电机运转。

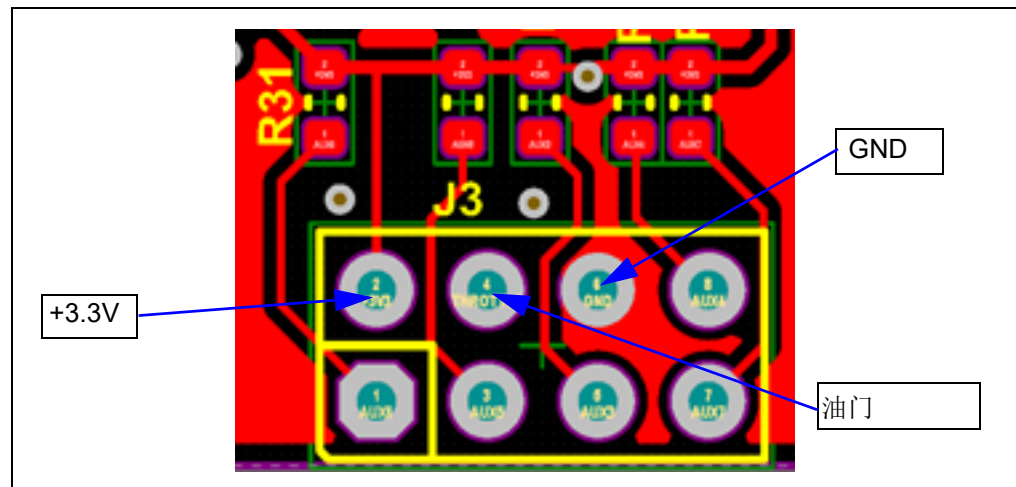


图2-3: J3上三根线与电位器的连接

## 2.1.3 编程/调试

尽管电路板的软硬件配置完备，但客户仍可使用MPLAB X IDE和PICkit 4在线调试器/编程器（能够快速、轻松地调试和编程dsPIC® DSC）灵活地改进或调整提供的固件。

PICkit 4编程器/调试器应按照相应极性连接到板上J2连接器（电路板上标记了J2的引脚1）。

2.1.4 连接器引脚分配

表2-1: 霍尔连接器

	引脚	信号
J1	1	+5V
	2	HALL1
	3	HALL2
	4	HALL3
	5	GND

表2-2: UART/I<sup>2</sup>C 连接器

	引脚	信号
J4	1	UART_RX
	2	+3.3V
	3	GND
	4	SCL
	5	SDA
	6	UART_tX

表2-3: 辅助连接器

	引脚	信号	引脚功能
J3	1	AUX6	数字IO
	2	+3.3V	电源
	3	AUX5	数字IO
	4	油门	模拟/数字IO
	5	AUX3	数字IO
	6	GND	电源
	7	AUX7	数字IO
	8	AUX4	数字IO



---

## 附录 A 原理图和布线图

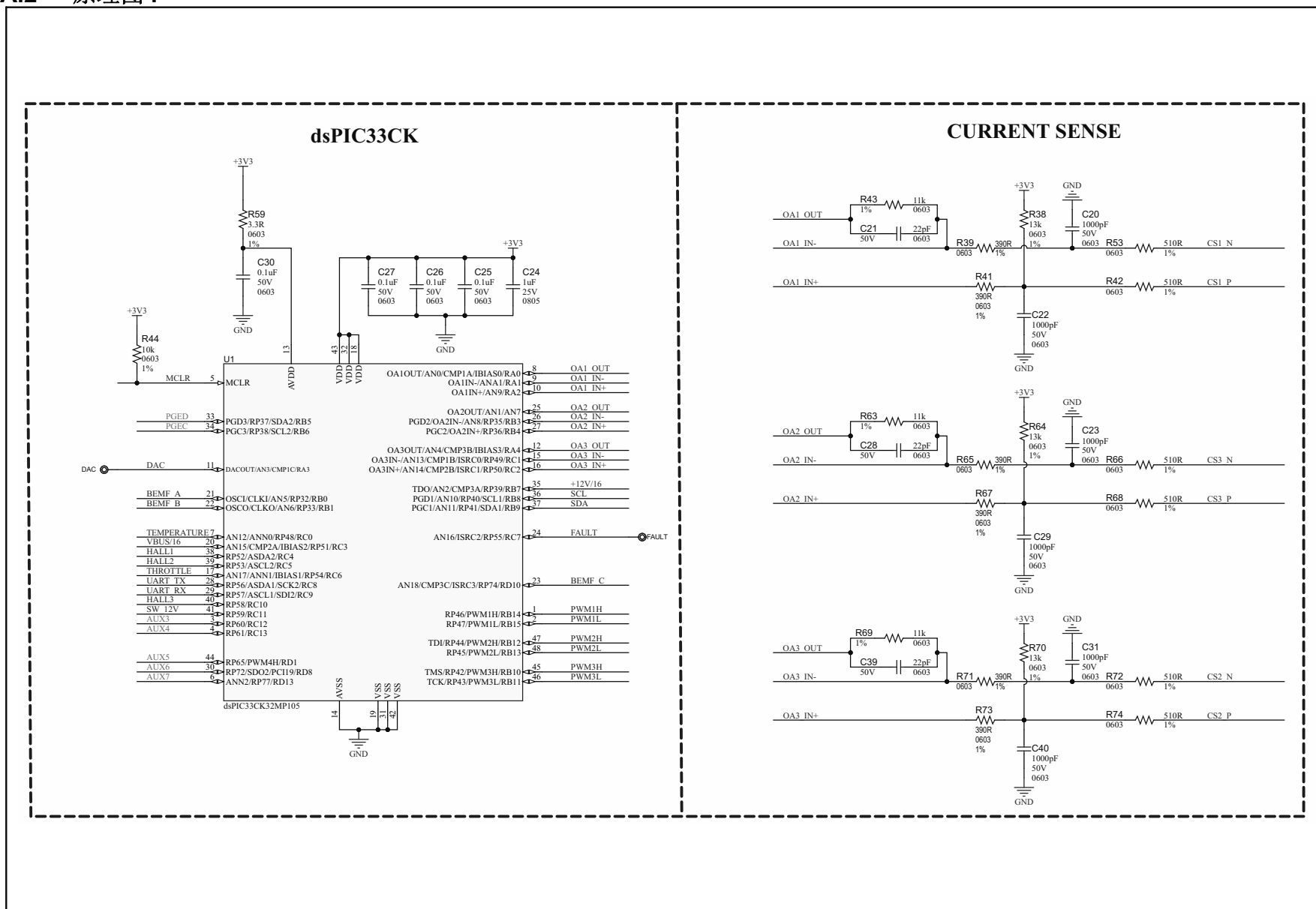
---

### A.1 简介

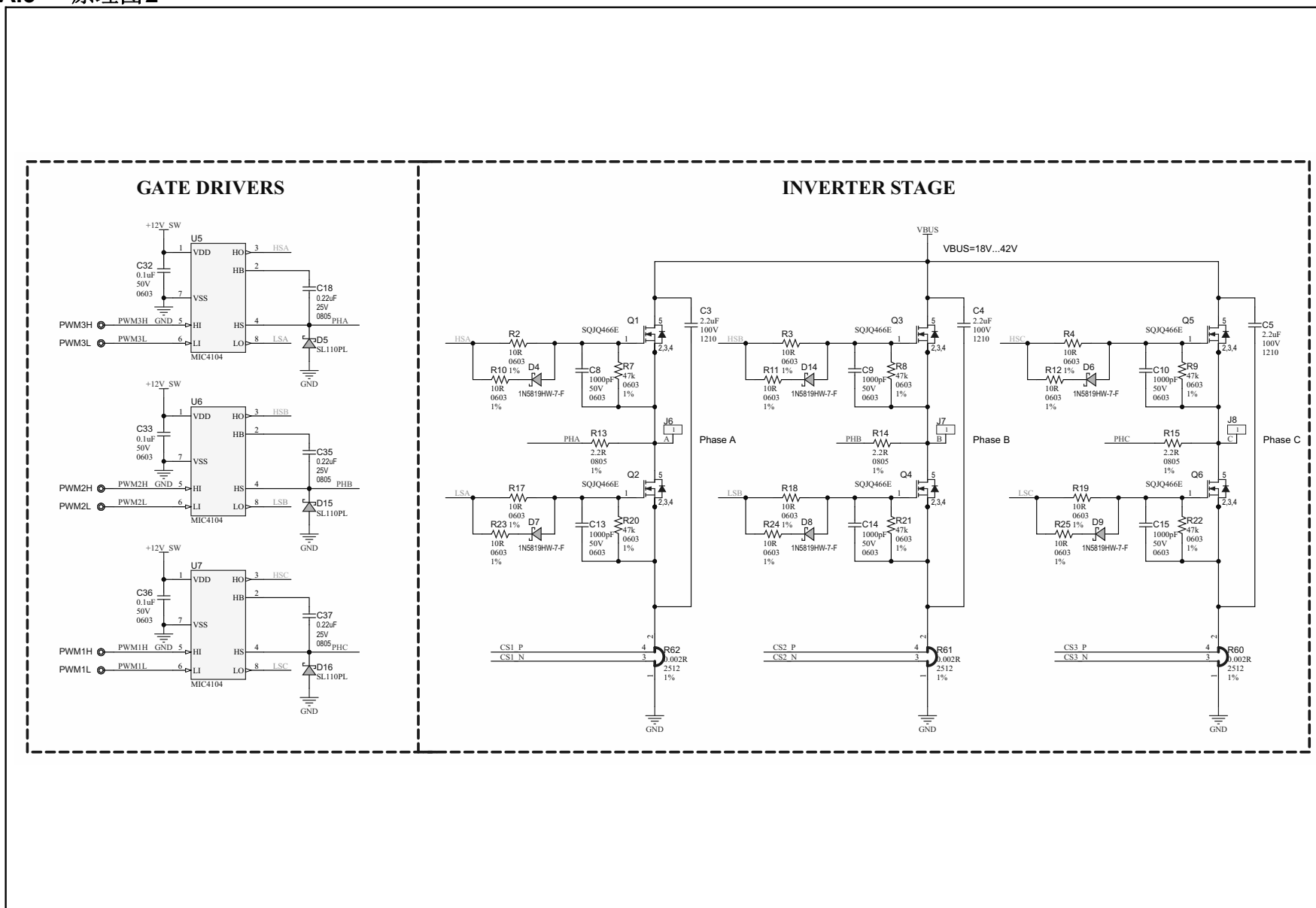
本附录包含高性能电动滑板车 BLDC 电机驱动器参考设计的以下原理图和布线图：

- 原理图 1
- 原理图 2
- 原理图 3
- 电路板——顶层丝印层
- 电路板——顶层覆铜和丝印层
- 电路板——顶层覆铜
- 电路板——内层覆铜 1
- 电路板——内层覆铜 2
- 电路板——底层覆铜
- 电路板——底层覆铜和丝印层
- 电路板——底层丝印层

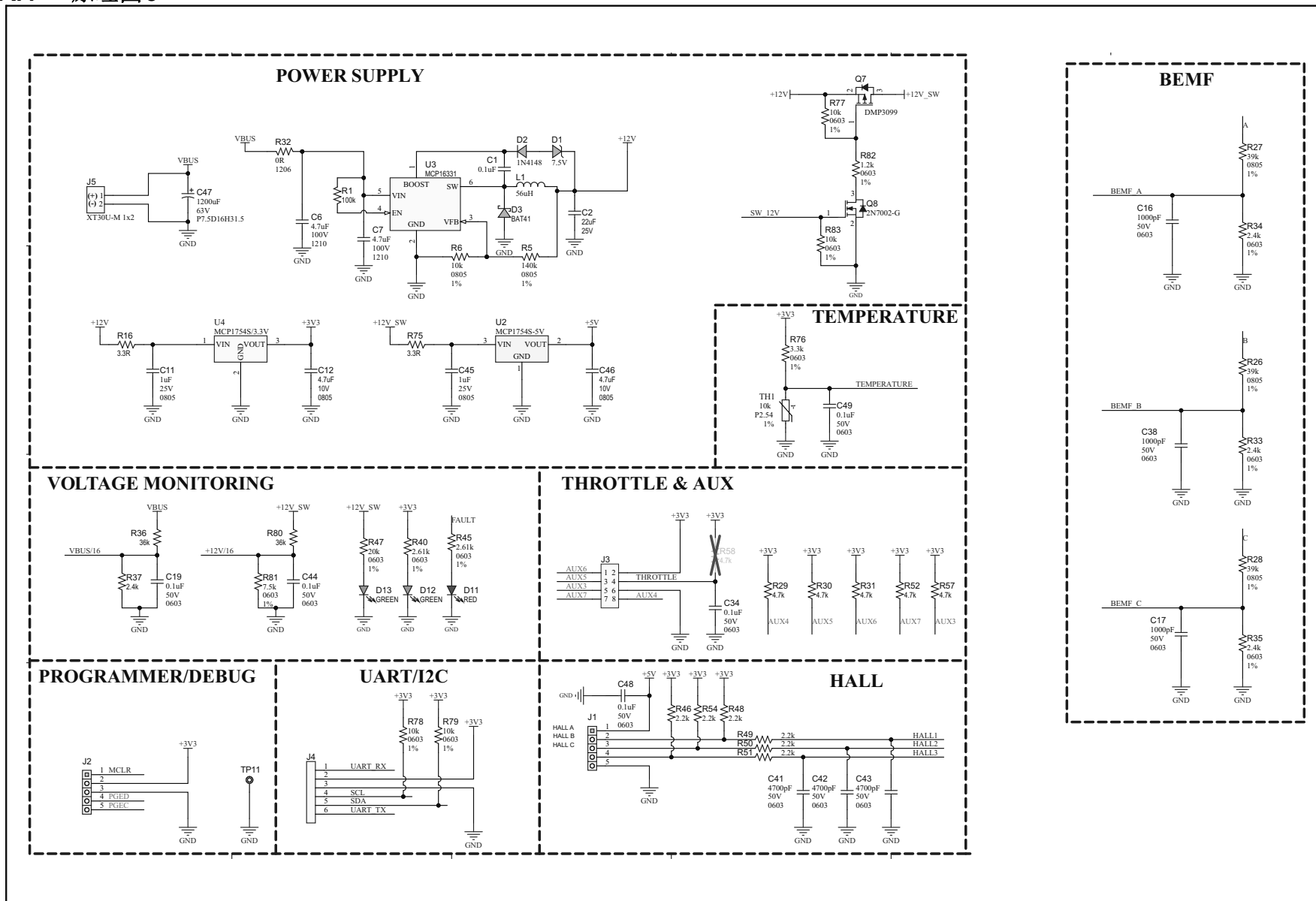
## A.2 原理图1



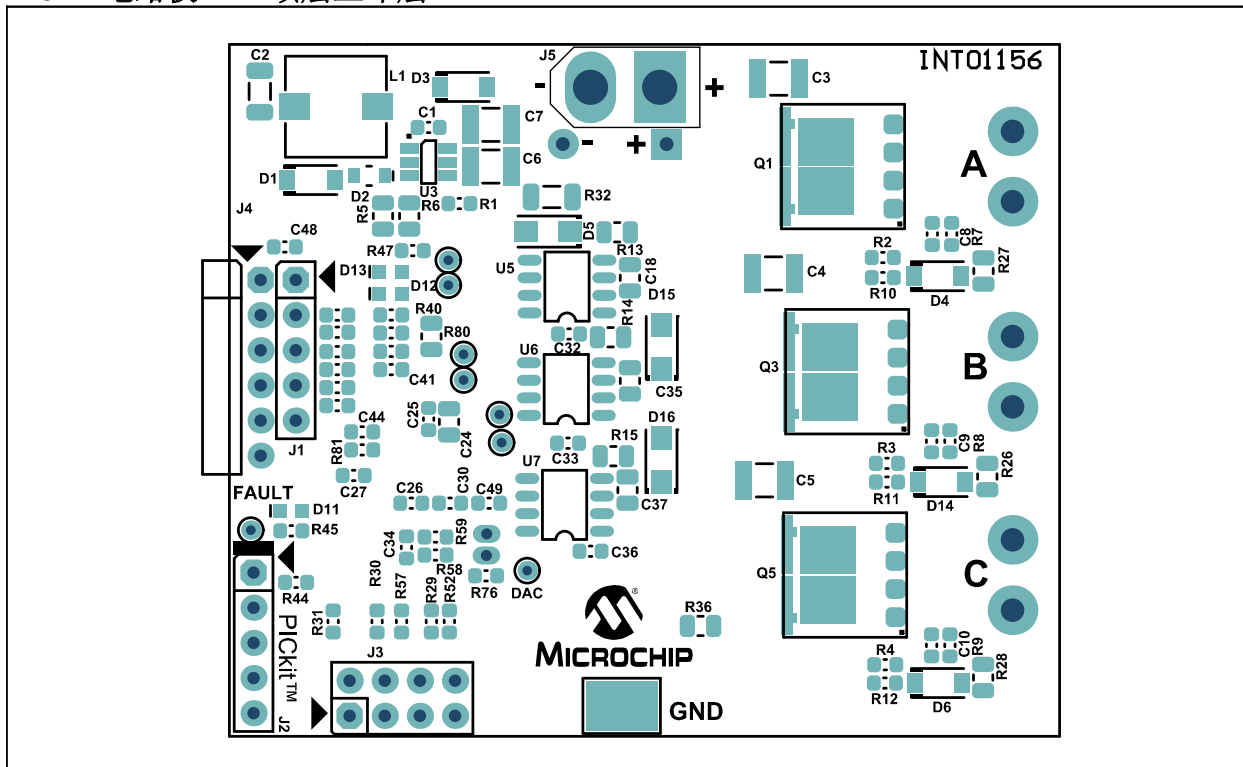
## A.3 原理图2



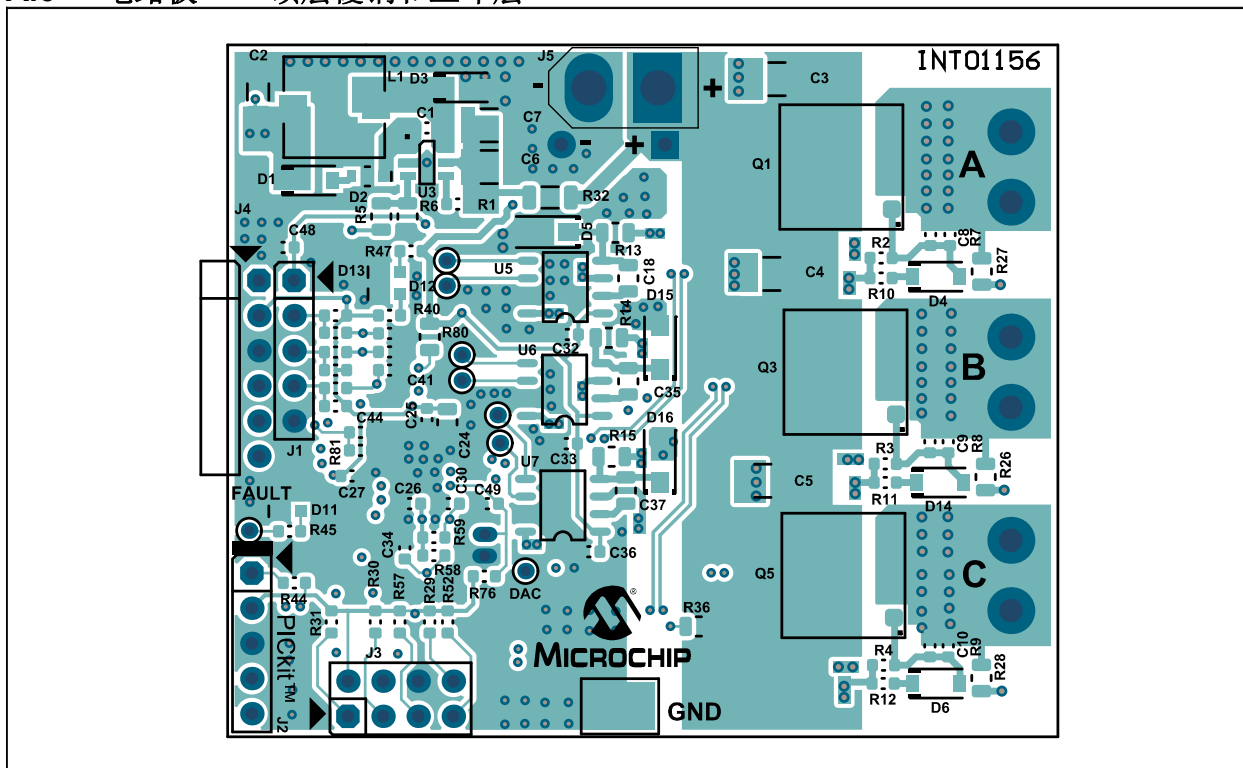
## A.4 原理图3



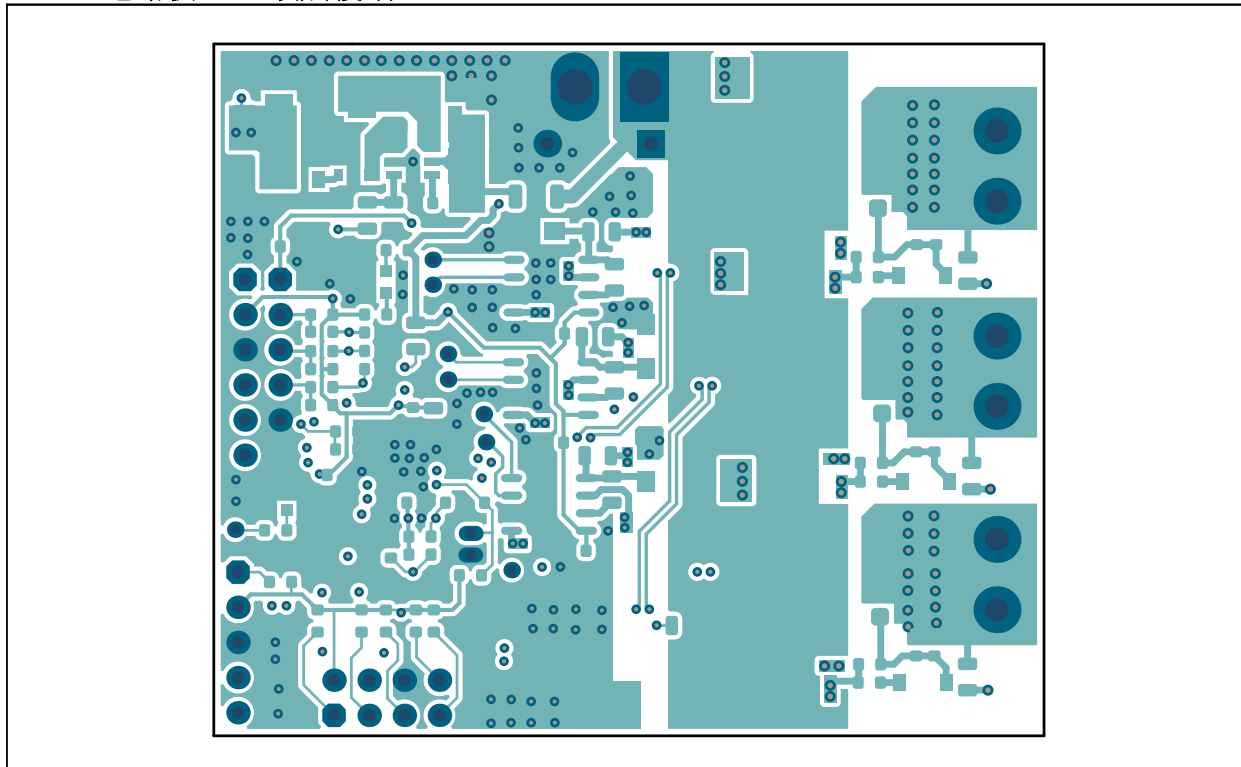
## A.5 电路板——顶层丝印层



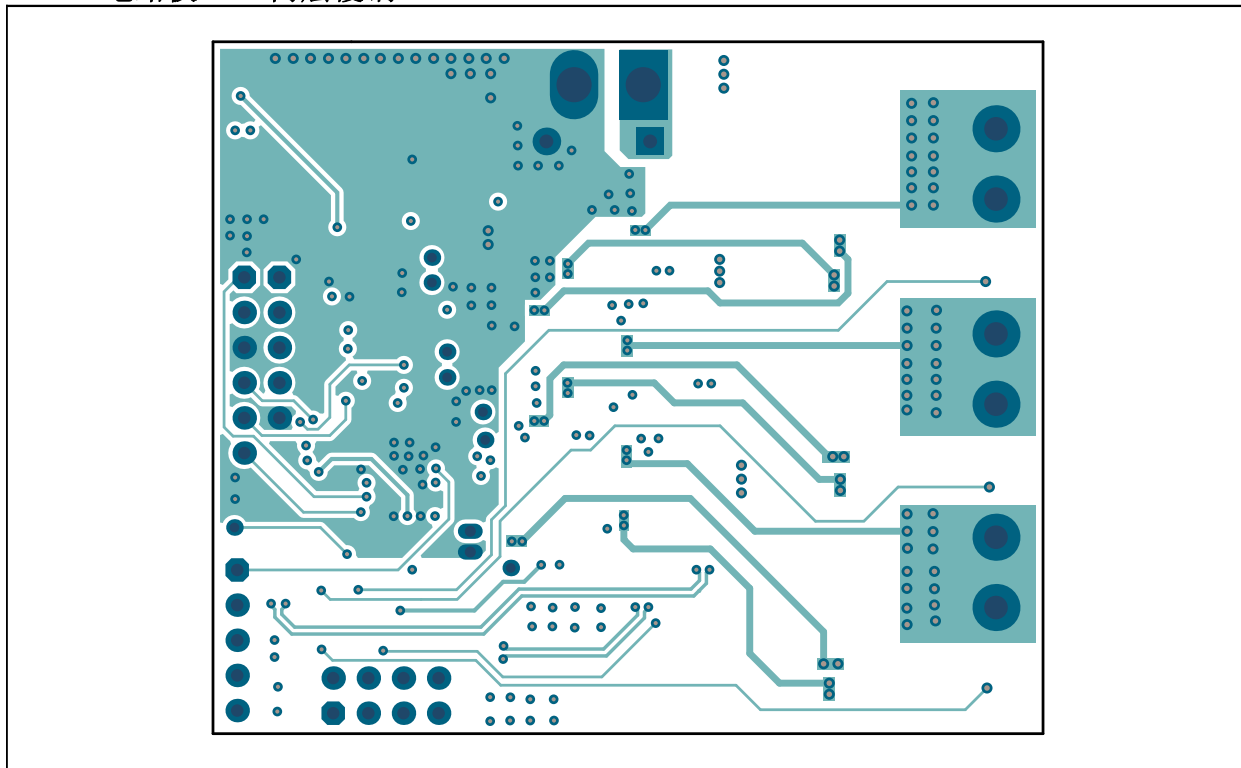
## A.6 电路板——顶层覆铜和丝印层



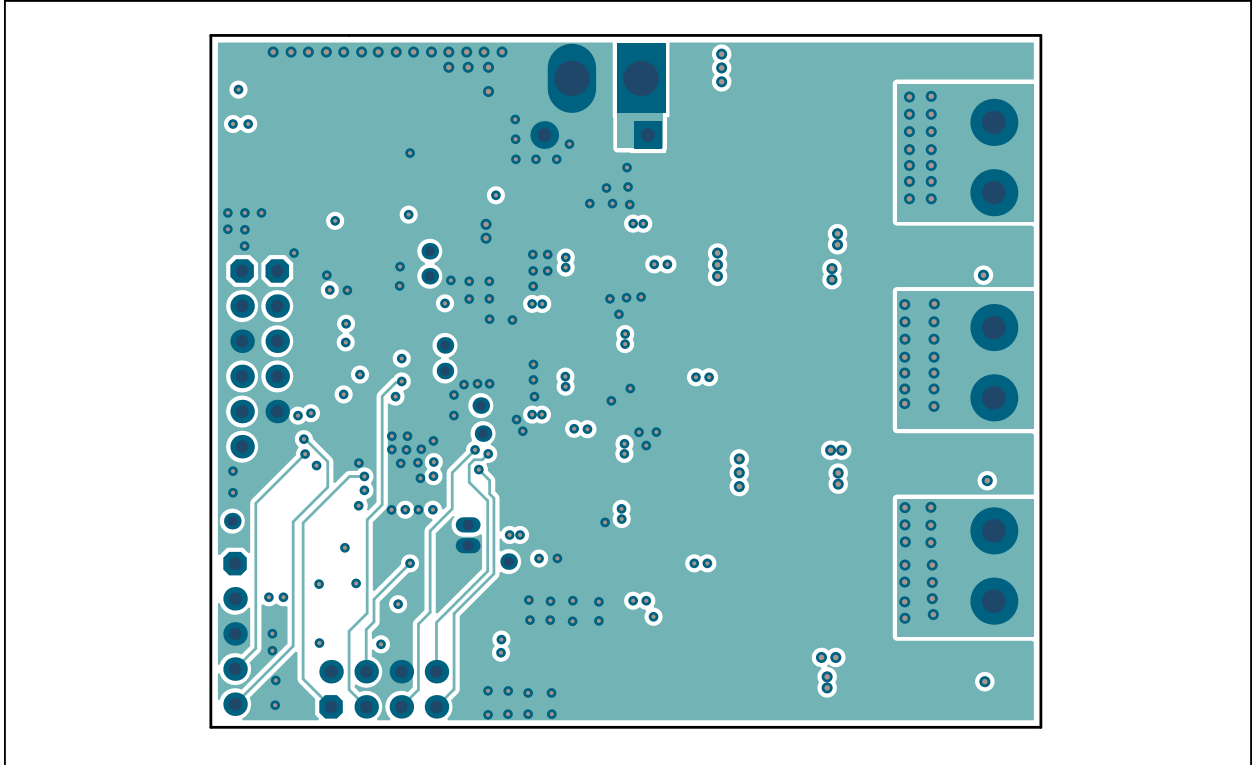
## A.7 电路板——顶层覆铜



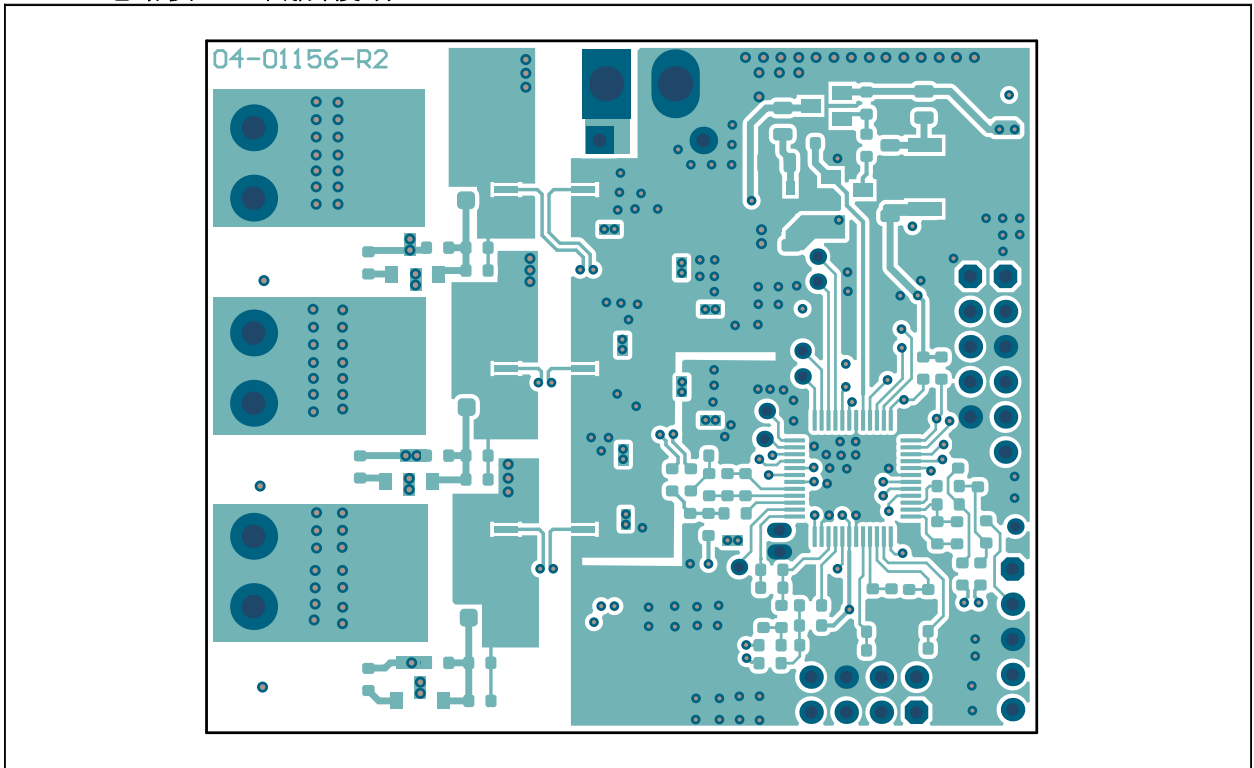
## A.8 电路板——内层覆铜1



### A.9 电路板——内层覆铜2



### A.10 电路板——底层覆铜







## 附录B 物料清单（BOM）

表B-1: 物料清单（BOM）

数量	编号	说明	制造商	部件编号
13	C1, C19, C25, C26, C27, C30, C32, C33, C34, C36, C44, C48, C49	Capacitor, Ceramic, 0.1 $\mu$ F, 50V, 10%, X7R, AEC-Q200, SMD, 0603	Kyocera AVX	06035C104K4Z4A
1	C2	Capacitor, Ceramic, 22 $\mu$ F, 25V, 10%, X5R, SMD, 1206	Murata Electronics®	GRM31CR61E226KE15L
3	C3, C4, C5	Capacitor, Ceramic, 2.2 $\mu$ F, 100V, 10%, X7R, SMD, 1210	Kyocera AVX	12101C225KAT2A
2	C6, C7	Capacitor, Ceramic, 4.7 $\mu$ F, 100V, 10%, X7S, SMD, 1210 AEC-Q200	Taiyo Yuden Co. Ltd.	HMK325C7475KMHPE
6	C8, C9, C10, C13, C14, C15	Capacitor, Ceramic, 1000 pF, 10%, 50V, X7R, SMD, 0603, AEC-Q200	TDK Corporation	CGA3E2X7R1H102K080A
3	C11, C24, C45	Capacitor, Ceramic, 1 $\mu$ F, 25V, 10%, X7R, SMD, 0805	Kyocera AVX	08053C105K4Z2A
2	C12, C46	Capacitor, Ceramic, 4.7 $\mu$ F, 10V, 20%, X7R, SMD, 0805	TDK Corporation	C2012X7R1A475M125AC
9	C16, C17, C20, C22, C23, C29, C31, C38, C40	Capacitor, Ceramic, 1000 pF, 50V, 10%, X7R, SMD, 0603	Wurth Elektronik	885012206083
3	C18, C35, C37	Capacitor, Ceramic, 0.22 $\mu$ F, 25V, 10%, X7R, SMD, 0805	Panasonic	ECJ-2YB1E224K
3	C21, C28, C39	Capacitor, Ceramic, 22 pF, 50V, 5%, NP0, SMD, 0603	Cal-Chip Electronics Inc.	GMC10CG220J50NTLF
3	C41, C42, C43	Capacitor, Ceramic, 4700 pF, 50V, 10%, X7R, SMD, 0603	KEMET	C0603C472K5RACTU
1	C47	Capacitor, Aluminum, 1200 $\mu$ F, 63V, 20%, RAD, P7.5D16H31.5	Wurth Elektronik	860040780019
1	D1	Diode, Zener, MMSZ7V5T1G, 7.5V, 500 mW, SMD, SOD-123	Rochester Electronics, LLC	MMSZ7V5T1G
1	D2	Diode, RECT, 1N4148, 1V, 150 mA, 100V, SOD-323	ON Semiconductor® / Fairchild Semiconductor®	1N4148WS
1	D3	Diode, Schottky, BAT41, 1V, 200 mA, 100V, SOD-123	STMicroelectronics	BAT41ZFILM
6	D4, D6, D7, D8, D9, D14	Diode, Schottky, 1N5819HW-7-F, 450 mV, 1A, 40V, SMD, SOD-123	Diodes Incorporated®	1N5819HW-7-F
3	D5, D15, D16	Diode, Schottky, SL110PL-TP, 600 mV, 1A, 100V, SOD-123FL	Micro Commercial Components Corp. (MCC)	SL110PL-TP
1	D11	Diode, LED, Red, 2V, 30 mA, 2mcd, Clear, SMD 0603	Vishay Lite-On	LTST-C190EKT

注 1: 物料清单中所列元件均为PCB组装的代表性元件。生产过程中使用的已发布BOM中的所有元件均符合RoHS。

# 高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计用户指南

表B-1: 物料清单 (BOM) (续)

数量	编号	说明	制造商	部件编号
2	D12, D13	Diode, LED, Green, 2V, 30 mA, 35mcd, Clear, SMD, 0603	Vishay Lite-On	LTST-C191KGKT
2	J1, J2	Connector, HDR-2.54, Male, 1x5, Gold, 5.84MH, TH, Vertical	Amphenol Corporation	68000-105HLF
1	J3	Connector, HDR-2.54, Male, 2x4, Gold, 5.84MH, TH, Vertical	Würth Elektronik	61300821121
1	J4	Connector, HDR-2.54, Male, 1x6, Gold, 5.84MH, TH, R/A	Amphenol Corporation	68016-106HLF
1	J5	Connector, Power, XT30U-M 5mm 1x2, Male, 15A, TH, Vertical	AMASS	XT30U-M
3	J6, J7, J8	Connector, Contact, QC, TAB, 0.250, Male, 1x1, TH, Vertical	TE Connectivity	1-726386-2
1	L1	Inductor, 56 $\mu$ H, 0.93A, 20%, SMD, L7.3W7.3H4.5	Würth Elektronik	7447779156
6	Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6	Transistor, FET N-CH, SQJQ466E 60V, 200A, PowerPAK, SO-8L, AEC-Q101	Vishay Precision Group (VPG)	SQJQ466E-T1_GE3
1	Q7	Transistor, FET P-CH, DMP3099L-7, -30V, -3.8A, 1.08W, SOT-23-3	Diodes Incorporated®	DMP3099L-7
1	Q8	Microchip Analog MOSFET N-CH 2N7002-G, 60V, 115 mA, SOT-23-3	Microchip Technology Inc.	<b>2N7002-G</b>
1	R1	Resistor, TF, 100k, 1%, 1/8W, SMD, 0603	Vishay Beyschlag	MCT06030C1003FP500
12	R2, R3, R4, R10, R11, R12, R17, R18, R19, R23, R24, R25	Resistor, TKF, 10R, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic	ERJ3EKF10R0V
1	R5	Resistor, TKF, 140k, 1%, 1/8W, SMD, 0805	Vishay Precision Group (VPG)	CRCW0805140KFKEA
1	R6	Resistor, TKF, 10k, 1%, 1/8W, SMD, 0805	Panasonic	ERJ-6ENF1002V
6	R7, R8, R9, R20, R21, R22	Resistor, TKF, 47k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic	ERJ3EKF4702V
3	R13, R14, R15	Resistor, TKF, 2.2R, 1%, 1/8W, SMD, 0805 AEC-Q200	Vishay Precision Group (VPG)	CRCW08052R20FKEA
2	R16, R75	Resistor, TKF, 3.3R, 1%, 1/8W, SMD, 0805, AEC-Q200	Stackpole Electronics, Inc.	RMCF0805FT3R30
3	R26, R27, R28	Resistor, TKF, 39k, 1%, 1/8W, SMD, 0805	Stackpole Electronics, Inc.	RMCF0805FT39K0
6	R29, R30, R31, R52, R57	Resistor, TKF, 4.7k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Yageo Corporation	RC0603FR-074K7L
1	R32	Resistor, TKF, 0R, SMD, 1206	Yageo Corporation	RC1206JR-070RL
4	R33, R34, R35, R37	Resistor, TKF, 2.4k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Yageo Corporation	RC0603FR-072K4L
2	R36, R80	Resistor, TKF, 36k, 1%, 1/8W, SMD, 0805	Panasonic	ERJ-6ENF3602V
3	R38, R64, R70	Resistor, TKF, 13k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic	ERJ-3EKF1302V

注 1: 物料清单中所列元件均为PCB组装的代表性元件。生产过程中使用的已发布BOM中的所有元件均符合RoHS。

# 物料清单 (BOM)

表B-1: 物料清单 (BOM) (续)

数量	编号	说明	制造商	部件编号
6	R39, R41, R65, R67, R71, R73	Resistor, TKF, 390R, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic	ERJ-3EKF3900V
2	R40, R45	Resistor, TKF, 2.61k, 1%, 1/16W, SMD, 0603	Multicomp Inc.	MC0063W060312K61
6	R42, R53, R66, R68, R72, R74	Resistor, TKF, 510R, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Vishay Precision Group (VPG)	CRCW0603510RFKEA
3	R43, R63, R69	Resistor, TKF, 11k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic	ERJ-3EKF1102V
6	R44, R77, R78, R79, R83	Resistor, TKF, 10k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic	ERJ-3EKF1002V
6	R46, R48, R49, R50, R51, R54	Resistor, TKF, 2.2k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic	ERJ-3EKF2201V
1	R47	Resistor, TKF, 20k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic	ERJ3EKF2002V
0	R58	Resistor, TKF, 4.7k, 1%, 1/10W, SMD, 0603 – DO NOT POPULATE	Vishay Precision Group (VPG)	CRCW04025R10JNEDC
1	R59	Resistor, TKF, 3.3R, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic	ERJ-3RQF3R3V
3	R60, R61, R62	Resistor, Shunt, ME, 0.002R, 1%, 5W, AEC-Q200, SMD, 2512	Vishay/Dale	WSLF25122L000FEA
1	R76	Resistor, TKF, 3.3k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Vishay/Dale	CRCW06033K30FKEA
1	R81	Resistor, TKF, 7.5k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Panasonic	ERJ-3EKF7501V
1	R82	Resistor, TKF, 1.2k, 1%, 1/10W, SMD, 0603	Stackpole Electronics, Inc.	RMCF0603FT1K20
1	TH1	Resistor, Thermistor, NTC, Radial, 10k, TH, P2.54mm, 3988K BEAD	TDK Electronics (previously EPCOS)	B57861S0103F040
1	U1	Microchip, MCU, 16-bit, 100 MHz, 256 kB, 64 kB dsPIC33CK32MP105-I/PT TQFP-48	Microchip Technology Inc.	<b>dsPIC33CK32MP105-I/PT</b>
1	U2	Microchip, Analog, LDO 5V MCP1754ST-5002E/CB SOT-23A-3	Microchip Technology Inc.	<b>MCP1754ST-5002E/CB</b>
1	U3	Microchip, Analog, Switcher, Buck 2 to 24V, MCP16331T-E/CH SOT-23-6	Microchip Technology Inc.	<b>MCP16331T-E/CH</b>
1	U4	Microchip, Analog, LDO, 3.3V, MCP1754ST-3302E/DB SOT-223-3	Microchip Technology Inc.	<b>MCP1754ST-3302E/DB</b>
3	U5, U6, U7	Microchip, Analog, FET, Driver, Dual-Non-Inverting MIC4104 SOIC-8	Microchip Technology Inc.	<b>MIC4104YM</b>

注 1: 物料清单中所列元件均为PCB组装的代表性元件。生产过程中使用的已发布BOM中的所有元件均符合RoHS。

注:

## 附录C 测试报告（波形）

### C.1 测试条件

高性能电动滑板车BLDC电机驱动器参考设计的测试条件如下：

- 使用三个不同的电机。针对每个波形/参数指定电机的类型。
- $V_{BUS}$  电解电容为1200  $\mu$ F/63V（来自Wurth Electronics的860040780019）。
- 未采用主动冷却解决方案来冷却电路板。电路板置于静止空气中。
- 采用两种工作模式（无传感器和有传感器）来进行测试。针对每个波形/参数指定工作模式。

测试设备：

- QPX1200SP 60V/50A可调电源
- 具有TCP0030A 30A电流探头的Tektronix DPO3034数字示波器
- 10S 7500 mA/h锂离子电池
- Magtrol TM 306/011 转矩传感器和AHB-1-4884可编程制动器

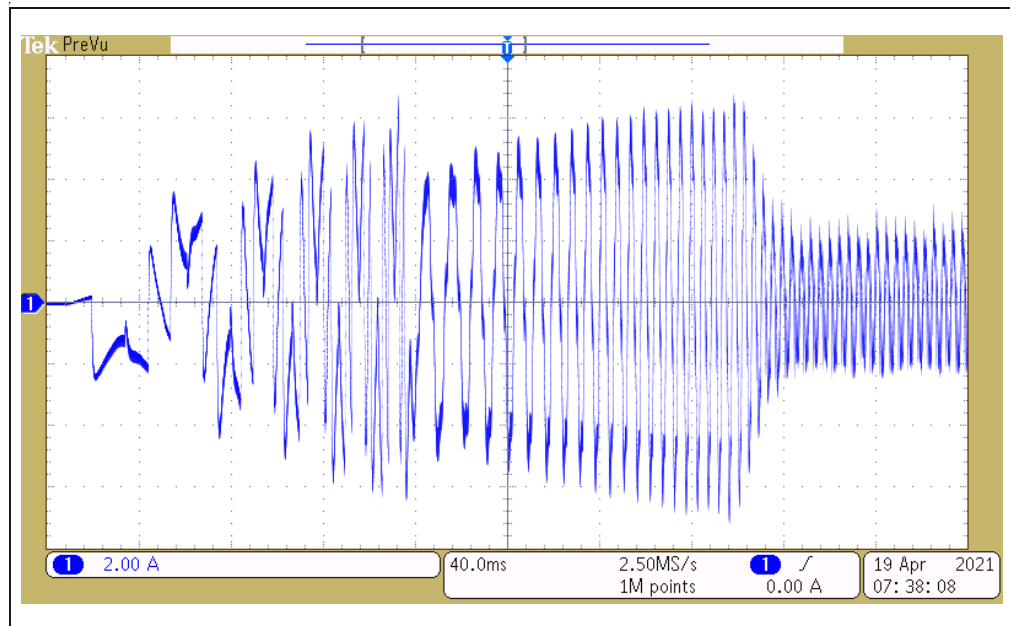
### C.2 效率

驱动器的效率使用Magtrol测试基准和可编程制动负载来测量。此测试期间使用的电机为EBM-PAPS M3G074-CFA4-VL，工作模式为无传感器模式。该效率是电能转换为机械能的效率，其中包括与电机驱动器相关的所有损耗以及与电机相关的损耗。表C-1汇总了相关结果。

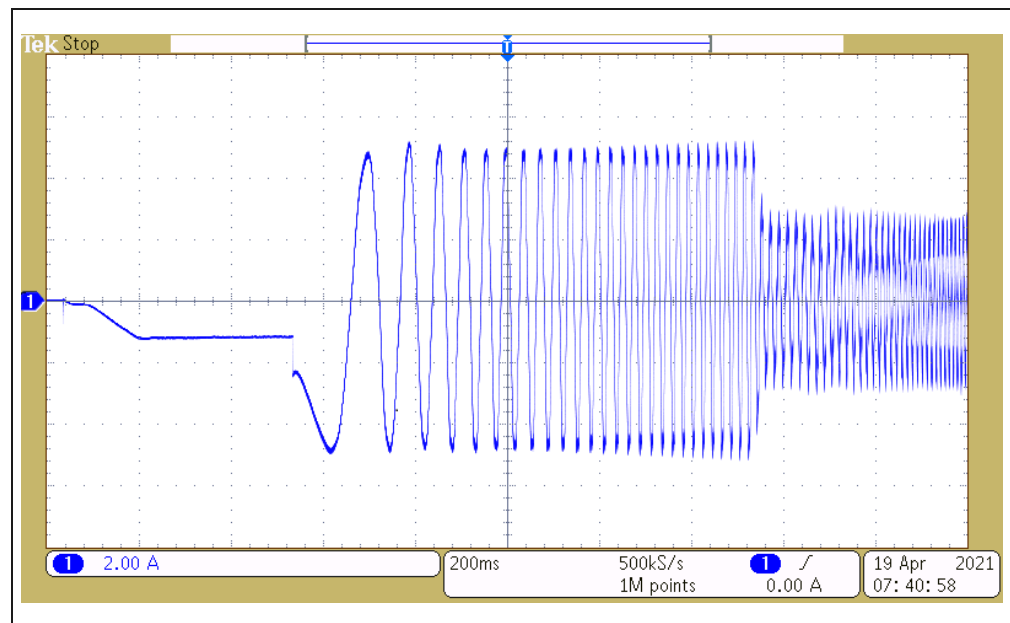
表C-1：

参数	值	单位
输入电压	39	V
负载转矩	1	Nm
输出机械功率	388	W
效率	84.5	%

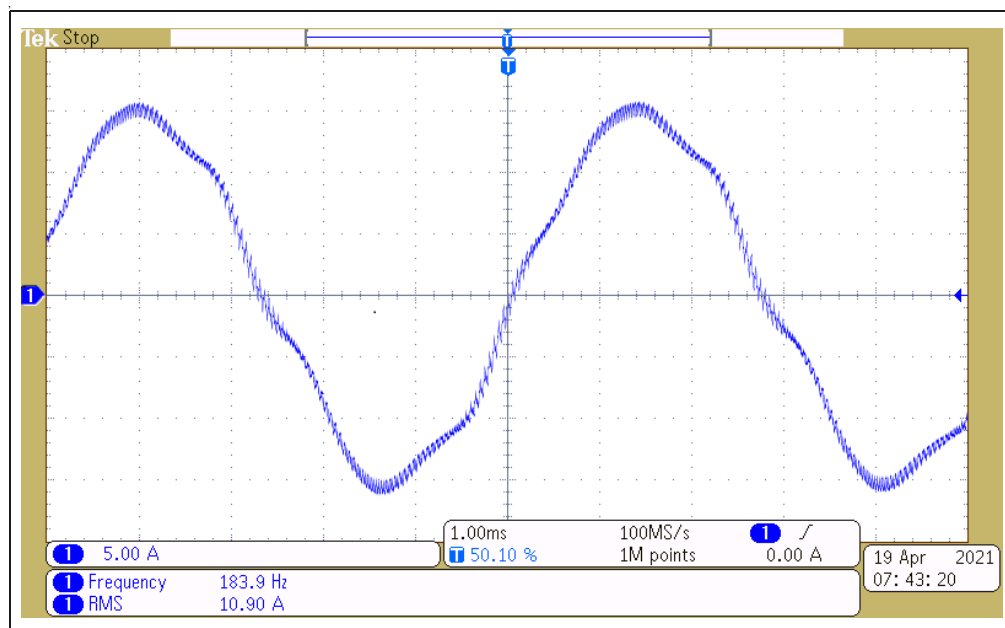
## C.3 典型波形



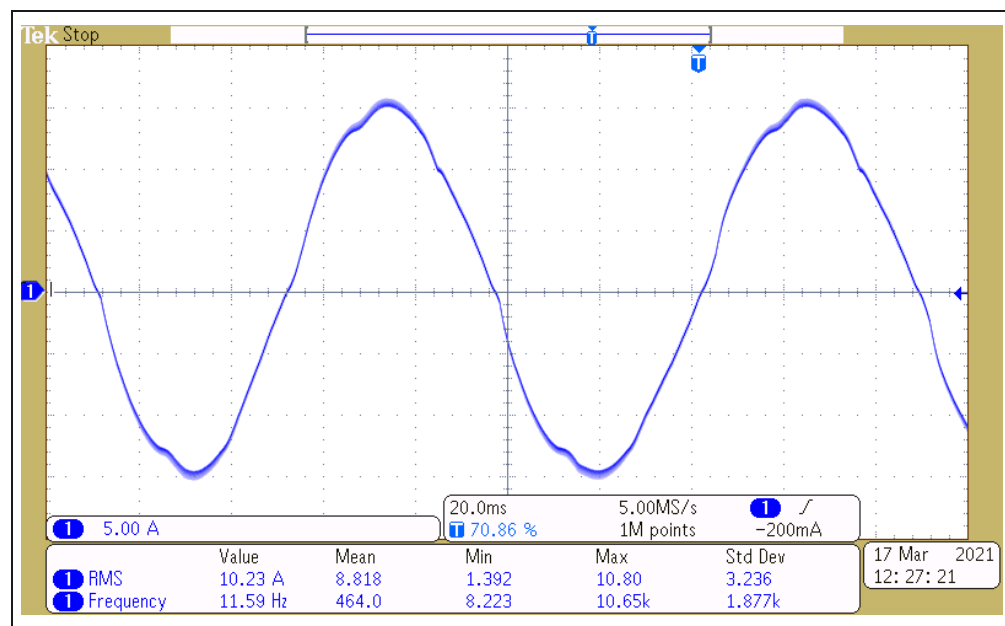
**图C-1:** 在有传感器模式下启动  
电机: Anaheim Automation BLY342D-24V-3000。输入电压为24V。



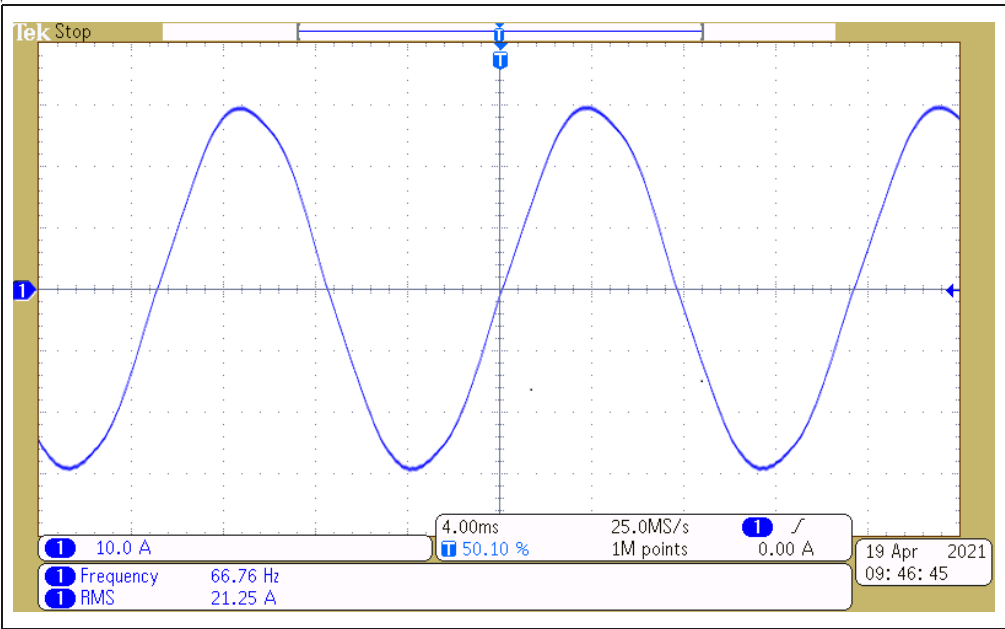
**图C-2:** 在无传感器模式下启动  
电机: Anaheim Automation BLY342D-24V-3000。输入电压为24V。



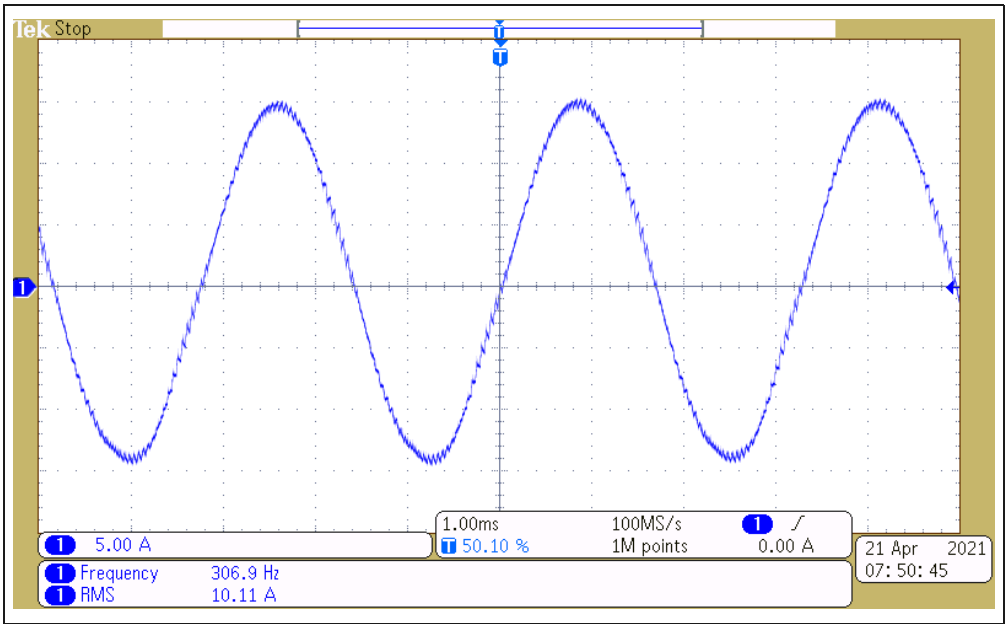
**图C-3:** 有传感器模式下的相电流  
电机: Anaheim Automation BLY342D-24V-3000。输入电压为24V。



**图C-4:** 有传感器模式下的相电流  
电机: Anaheim Automation BLY342D-24V-3000。输入电压为24V。

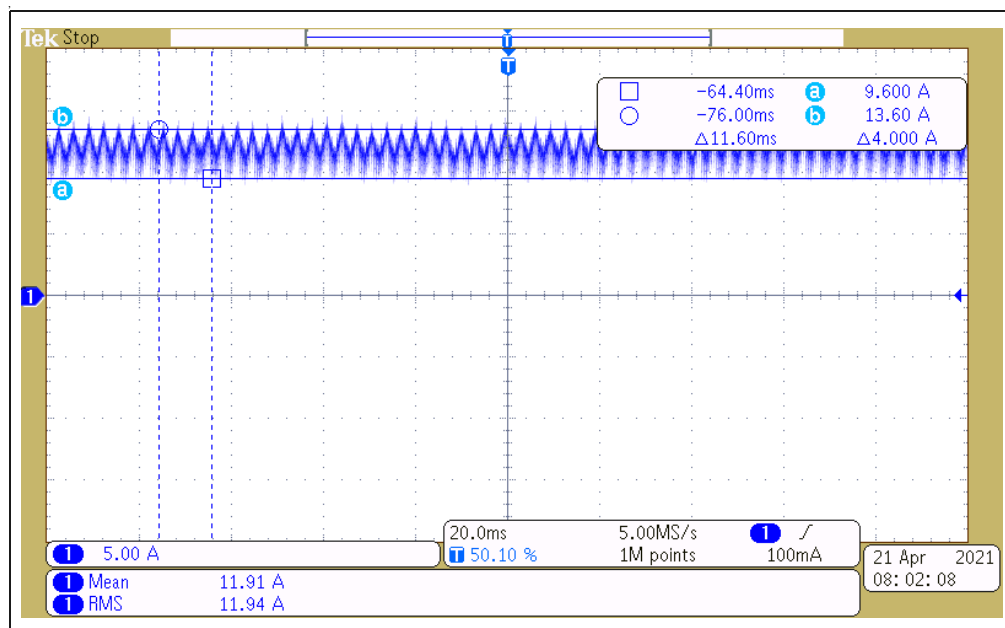


图C-5： 有传感器模式下的相电流  
电机： 轮毂电机， 250W， 15 个极对。 输入电压为39V。

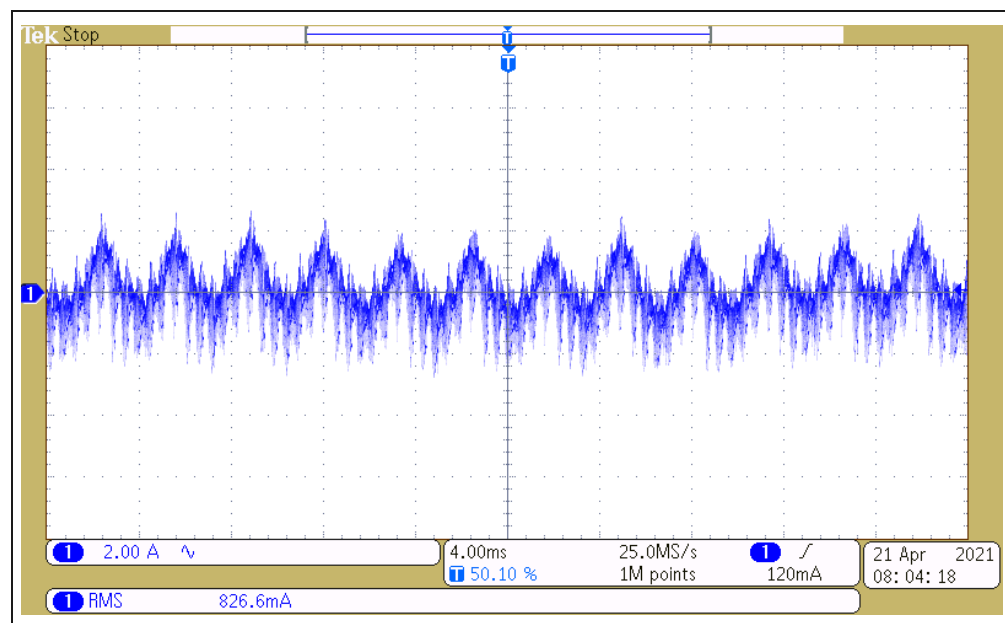


图C-6： 无传感器模式下的相电流  
电机： EBM-PAPS M3G074-CFA4-VL。 输入电压为39V。

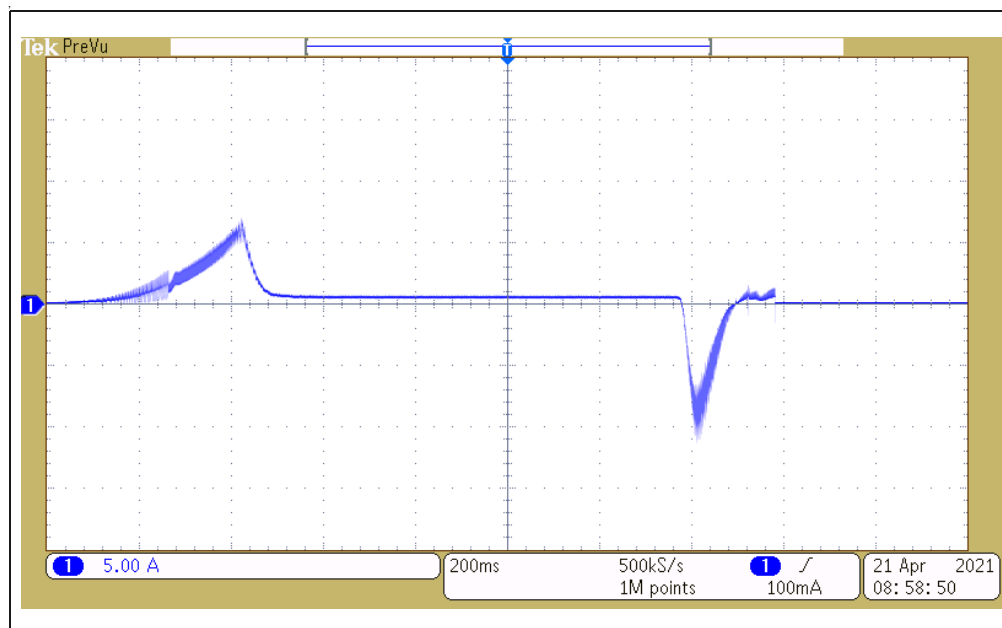




**图C-7：** 无传感器模式下的输入电流（直流耦合）  
电机：EBM-PAPS M3G074-CFA4-VL。输入电压为39V。机械负载为1 Nm，所提供的机械功率为388W。



**图C-8：** 无传感器模式下的输入电流（交流耦合）  
电机：EBM-PAPS M3G074-CFA4-VL。输入电压为39V。机械负载为1 Nm，所提供的机械功率为388W。



**图C-9：** 加速和再生制动阶段的输入电流（有传感器恒定转矩模式）  
电机：轮毂电机，250W，15个极对。输入电压为41V（由10S 7500 mA/h 锂离子电池提供）。最高速度为762 RPM。

## C.4 热测量

热测量采用的是电机开环工作模式。原型电路板覆铜层的厚度为1盎司。相电流设置为15A RMS。输入电压设置为39V。电路板的热影像在连续工作15分钟后获得，如图C-10所示。



**图C-10：** 电路板的热影像

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](http://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 - Gothenburg**  
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