



电机控制入门工具包 用户指南

请注意以下有关 Microchip 器件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指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中更安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- 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。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案 (Digital Millennium Copyright Act)》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

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。

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。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，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。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伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中或以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、dsPIC、KEELOQ、KEELOQ 徽标、MPLAB、PIC、PICmicro、PICSTART、PIC³² 徽标、rfPIC 和 UNI/O 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

FilterLab、Hampshire、HI-TECH C、Linear Active Thermistor、MXDEV、MXLAB、SEEVAL 和 The Embedded Control Solutions Company 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Analog-for-the-Digital Age、Application Maestro、chipKIT、chipKIT 徽标、CodeGuard、dsPICDEM、dsPICDEM.net、dsPICworks、dsSPEAK、ECAN、ECONOMONITOR、FanSense、HI-TIDE、In-Circuit Serial Programming、ICSP、Mindi、MiWi、MPASM、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、mTouch、Omniscient Code Generation、PICC、PICC-18、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、REAL ICE、rLAB、Select Mode、Total Endurance、TSHARC、UniWinDriver、WiperLock 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 是 Microchip Technology Inc. 在美国的服务标记。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2011, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN: 978-1-61341-874-1

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
== ISO/TS 16949:2009 ==

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2009 认证。Microchip 的 PIC® MCU 与 dsPIC® DSC、KEELOQ® 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器和模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。此外，Microchip 在开发系统的设计和和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

目录

第 1 章 简介

1.1 工具包组件	11
1.2 电气规范	12
1.3 入门工具包的功能和特性	12

第 2 章 软件说明

2.1 电机控制应用	15
2.2 mTouch 电容式滑动条应用	15
2.3 集成电机控制和 mTouch 功能	16

第 3 章 硬件

3.1 编程器 / 调试器	18
3.2 信号配置	19
3.3 编程器 / 调试器元件	20
3.4 应用元件	20
3.5 板上连接器	21
3.6 指示灯和人机接口	22
3.7 测试点	22

附录 A 布线、原理图和物料清单

A.1 入门工具包电路板布线	23
A.2 调试器硬件原理图	25
A.3 应用原理图	26

注:

前言

客户须知

所有文档均会过时，本文档也不例外。Microchip 的工具和文档将不断演变以满足客户的需求，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“DSXXXXXA_CN”，其中“XXXXX”为文档编号，“A”为文档版本。

欲了解开发工具的最新信息，请参见 MPLAB® IDE 在线帮助。在 Help（帮助）菜单中选择 Topics（主题），打开现有在线帮助文件列表。

简介

本章包含使用电机控制入门工具包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](#)
- [保修登记](#)
- [推荐读物](#)
- [Microchip 网站](#)
- [开发系统变更通知客户服务](#)
- [客户支持](#)
- [文档版本历史](#)

文档编排

本文档介绍了如何使用入门工具包开发工具在目标板上仿真和调试固件。本手册的内容编排如下：

- [第 1 章“简介”](#)—— 简要概述了电机控制入门工具包。
- [第 2 章“软件说明”](#)—— 介绍了随电机控制入门工具包提供的软件。
- [第 3 章“硬件”](#)—— 介绍了电机控制入门工具包的硬件。
- [附录 A“布线、原理图和物料清单”](#)—— 提供了电机控制入门工具包的详细原理图、电路板布线和物料清单。

本指南使用的约定

本手册采用以下文档约定：

文档约定

说明	涵义	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	…… 仅有的编译器……
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
0xnxxx	十六进制数，n 是其中一位	0xFFFF, 0x007A
尖括号 <> 括起的文字	键盘上的按键	按 <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'
'bnnnn	二进制数，n 是其中一位	'b00100, 'b10
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) { ... }

保修登记

请填写随附的保修登记卡（Warranty Registration Card）并尽快寄出。寄出保修登记卡的用户将可收到新产品更新信息。可在 Microchip 网站上获得临时软件版本。

推荐读物

本用户指南介绍了如何使用电机控制入门工具包。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材料。

BLDC 电机控制资源

- AN1160 《用择多函数实现反电动势滤波的无传感器 BLDC 控制》
- AN901 《dsPIC30F 在无传感器 BLDC 控制中的应用》
- AN885 《无刷直流（BLDC）电机基础》
- AN857 “*Brushless DC Motor Control Made Easy*”
- 网上研讨会——“用择多函数实现反电动势滤波的无传感器 BLDC 控制”

mTouch™ 触摸传感解决方案资源

- AN1250 《Microchip 用于电容触摸应用的 CTMU》
- 网上研讨会——“mTouch™ 电容式触摸传感简介”

可从距您最近的 Microchip 销售办事处（在本文档后面列出）获得这些参考文档以及其他相关文档，或从 Microchip 网站（www.microchip.com）的以下位置下载：

- <http://www.microchip.com/appnotes/>
- <http://techtrain.microchip.com/webseminars/QuickList.aspx>
- <http://www.microchip.com/motor/>
- <http://www.microchip.com/mtouch/>

dsPIC33FJ16GP101/102 和 dsPIC33FJ16MC101/102 数据手册（DS70652B_CN）

有关 dsPIC33F 通用系列器件和电机控制数字信号控制器（Digital Signal Controller, DSC）的详细信息，请参见此文档。此数据手册中包含以下参考信息：

- 器件存储器映射
- 器件引脚配置和封装详细信息
- 器件电气规范
- 器件上包含的外设列表

dsPIC33F/PIC24H 系列参考手册章节

这些系列参考手册章节介绍了 dsPIC® DSC 系列架构和外设模块的操作。每个器件系列的具体信息在各自系列的器件数据手册中说明。

dsPIC33F/PIC24H 闪存编程规范（DS70152C_CN）

有关指令集和固件开发的信息，请参见此文档。可从 Microchip 网站或当地 Microchip 销售办事处获取此文档。

MPLAB® C Compiler for PIC24 MCUs and dsPIC® DSCs User's Guide (DS51284)

此文档详细介绍了如何使用 Microchip 适用于 PIC24 MCU 和 dsPIC DSC 器件的 MPLAB C 编译器开发应用程序。MPLAB C 编译器是以自由软件基金会 (Free Software Foundation, FSF) 的源代码为基础的基于 GNU 的语言工具。有关 FSF 的更多信息, 请访问 www.fsf.org。

MPLAB® IDE 用户指南 (DS51519A_CN)

此文档介绍如何使用 MPLAB IDE 集成开发环境 (Integrated Development Environment, IDE) 以及 MPLAB 项目管理器、MPLAB 编辑器和 MPLAB SIM 软件模拟器。使用这些开发工具有助于开发和调试应用程序代码。

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。只要使用常用的互联网浏览器即可访问。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 (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

开发系统变更通知客户服务

Microchip 的客户通知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。

欲注册, 请登录 Microchip 网站 www.microchip.com, 点击“变更通知客户” (Customer Change Notification) 服务并按照注册说明完成注册。

开发系统产品的分类如下:

- **编译器**——Microchip C 编译器及其他语言工具的最新信息, 包括 MPLAB® C 编译器、MPASM™ 和 MPLAB 16 位汇编器、MPLINK™ 和 MPLAB 16 位目标链接器, 以及 MPLIB™ 和 MPLAB 16 位目标库管理器。
- **仿真器**——Microchip MPLAB REAL ICE™ 在线仿真器的最新信息。
- **在线调试器**——Microchip 在线调试器 MPLAB ICD 3 的最新信息。
- **MPLAB IDE**——关于开发系统工具的 Windows® 集成开发环境 Microchip MPLAB IDE 的最新信息, 主要针对 MPLAB IDE、MPLAB SIM 模拟器、MPLAB IDE 项目管理器以及一般编辑和调试功能。
- **编程器**——Microchip 编程器的最新信息, 包括 MPLAB PM3 器件编程器以及 PICKit™ 3 开发编程器。

客户支持

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获取帮助：

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 应用工程师（FAE）
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或应用工程师（FAE）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。

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

文档版本历史

版本 A（2011 年 6 月）

本文档的初始版本。

注:

第 1 章 简介

感谢您购买 Microchip Technology 的电机控制入门工具包。工具包中提供的电路板用于介绍和演示低成本 16 位电机控制和 mTouch™ 系列器件的功能和特性。此外，电机控制入门工具包包含了板上编程器 / 调试器，无需额外的编程器或硬件接口。

本章介绍电机控制入门工具包并概述其特性。涵盖的主题包括：

- 工具包组件
- 电气规范
- 入门工具包的功能和特性

预编程到板上 dsPIC33F 数字信号控制器（DSC）中的演示应用软件可从 Microchip 网站下载，网址为：<http://www.microchip.com>。

其中包括了所有项目文件，这样便可以直接使用该代码将入门工具包中的 dsPIC33F DSC 器件恢复为原始状态（即，如果已使用其他程序对器件样片重新编程过），也可以将演示代码用作进一步实验和评估的平台。

注： 有关如何运行演示应用的说明，请参见电机控制入门工具包演示软件随附的自述文件。有关如何使用入门工具包烧写和调试应用软件的更多资源和说明，请参见入门工具包随附的信息手册。

1.1 工具包组件

电机控制入门工具包包含以下组件：

- 电机控制入门工具包电路板
- BLDC 电机
- 9V 电源
- USB 电缆

注： 如果工具包缺少任何组件，请与 Microchip 销售办事处联系以寻求帮助。本文档的封底附有 Microchip 全球销售和服务办事处的联系方式。

1.2 电气规范

表 1-1: 直流输入额定值 (J3)

参数	典型值	最大值	单位
连接到 J3 的电源	9	12	VDC

表 1-2: 直流输出额定值 (J5)

参数	典型值	最大值	单位
电压	12	12	VDC
峰值电流	0.2	0.8	A
额定功率	2.5	10	W

表 1-3: BLDC 电机 (SHINANO DR-29312) 制造商规格

参数	值	单位
额定电压	12	VDC
额定转矩	6	mNm
额定速度	1400	RPM
额定电流	0.16	A

1.3 入门工具包的功能和特性

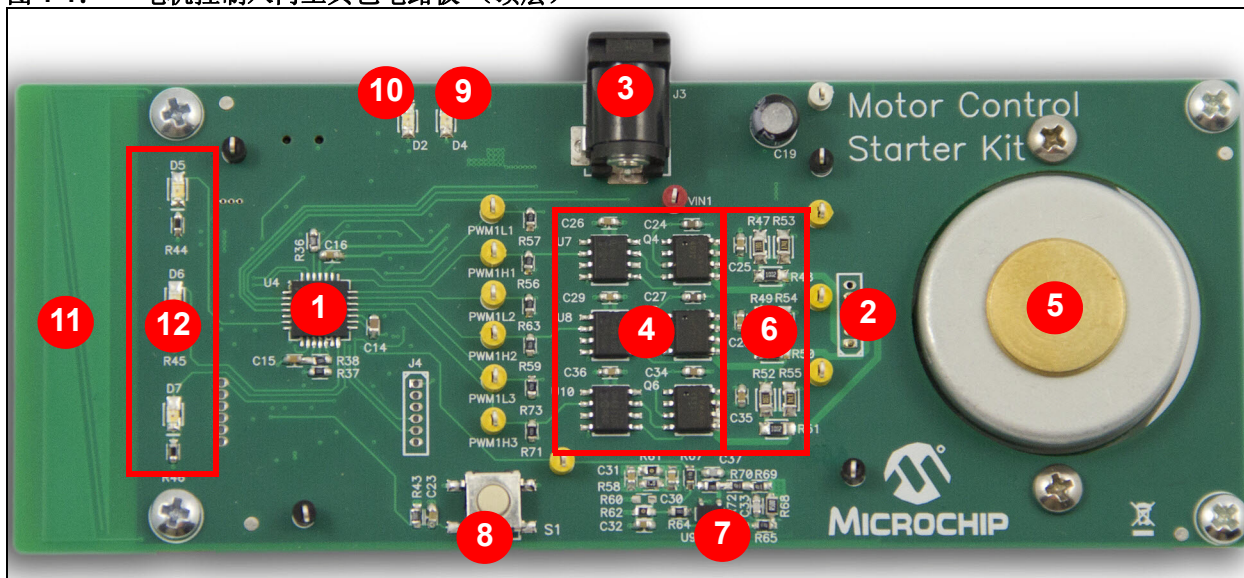
本节介绍电机控制入门工具包的顶层和底层电路板布线元件装配。

1.3.1 顶层元件装配

电路板的顶层元件装配包含以下主要功能部件，如图 1-1 所示：

1. Microchip dsPIC33FJ16MC102 DSC (U4)
2. 电机连接器 (J5)
3. 9V 电源连接器 (J3)
4. 三相逆变器
5. BLDC 电机
6. BEMF 反馈
7. 电流反馈
8. 按钮 (S1)
9. 电源 LED (D4)
10. 编程器 / 调试器电源 LED (D2)
11. 电容式滑动条
12. 用户 LED (D5、D6 和 D7)

图 1-1: 电机控制入门工具包电路板 (顶层)

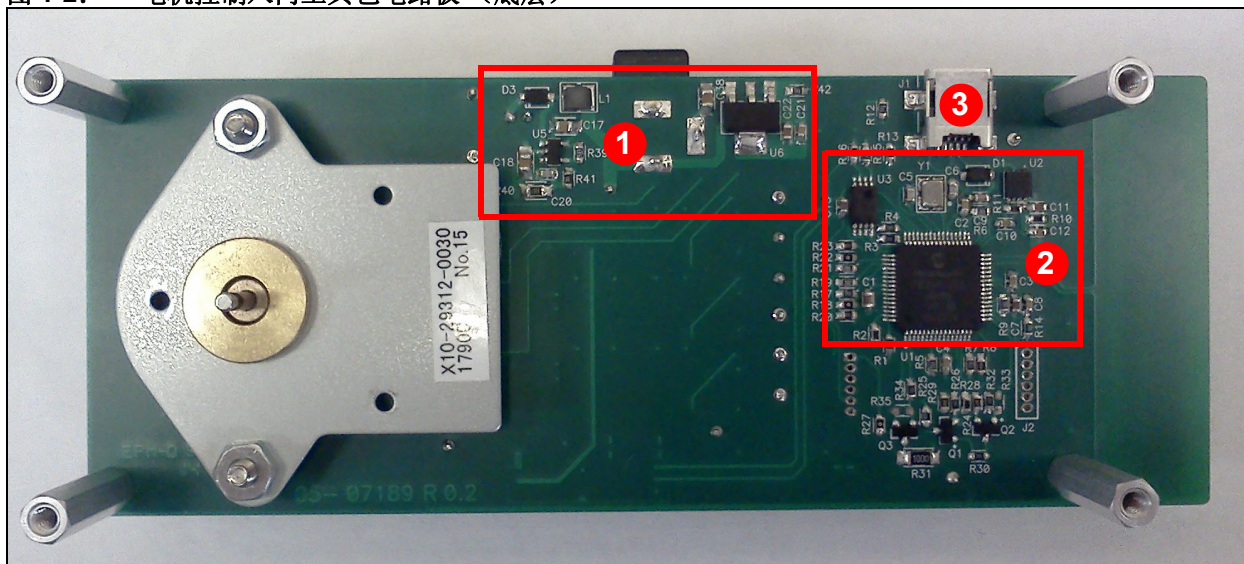


1.3.2 底层元件装配

电路板的底层元件装配包含以下主要功能部件，如图 1-2 所示：

1. 电源稳压器
2. 板上编程器 / 调试器
3. 编程器 / 调试器 USB 连接器 (J1)

图 1-2: 电机控制入门工具包电路板 (底层)



注:

第 2 章 软件说明

入门工具包教程应用演示了如何成功地将对噪声敏感的 mTouch 应用集成到标准电机控制环境中。

本章包含以下主题：

- [电机控制应用](#)
- [mTouch 电容式滑动条应用](#)
- [集成电机控制和 mTouch 功能](#)

2.1 电机控制应用

此入门工具包上的电机控制软件和硬件基于应用笔记 AN1160 《用择多函数实现反电动势滤波的无传感器 BLDC 控制》中介绍的算法，可从 Microchip 网站 (www.microchip.com) 下载该应用笔记。

与标准 AN1160 软件的主要差异在于实现过流故障保护功能的方式。

dsPIC33FJ16MC102 DSC 采用内部模拟比较器，可即时检测过流情况并能对 PWM 输出执行立即硬件关断。可在软件中轻松设置过流级别，从而使解决方案更灵活并可适应各种电机。

流经电流检测电阻的电机电流通过运算放大器放大，可用作 dsPIC33FJ16MC102 DSC 的模拟引脚上的输入。可在软件中将模拟输入配置为比较器输入和 ADC 输入。通过 ADC 模块读取电流可实现更复杂的控制算法，例如单电流检测电阻算法。

要闭合故障检测回路，请将比较器输出从外部接线到 PWM 故障输入。只要电流超过软件中设置的级别，比较器就会翻转其输出，PWM 将会立即关闭，而不会等待下一个时钟脉冲出现。

2.2 mTouch 电容式滑动条应用

电机控制入门工具包上的电容式滑动条基于应用笔记 AN1250 《Microchip 用于电容触摸应用的 CTMU》实现。有关 mTouch 滑动条和按钮以及 CTMU 模块的详细信息，请参见此文档，可从 Microchip 网站 (www.microchip.com) 下载此文档。

电机控制入门工具包上实现了双通道电容式滑动条。每个通道都与

dsPIC33FJ16MC102 DSC 上的一个模拟输入相连接。CTMU 模块在一定时间内以固定电流对每个通道的电容充电。每个通道的电容取决于用户手指在滑动条上的位置，未触摸滑动条时电容值较高。经过固定充电时间之后，CTMU 模块停止对电容充电并触发 ADC 开始采样，并将每个电容上的电压转换为数值。

每个通道的数值均经过滤波以消除噪声，然后根据预定义的阈值确定用户手指在滑动条上的位置。也可通过在一段时间内监视两个通道来检测滑动条上的移动。

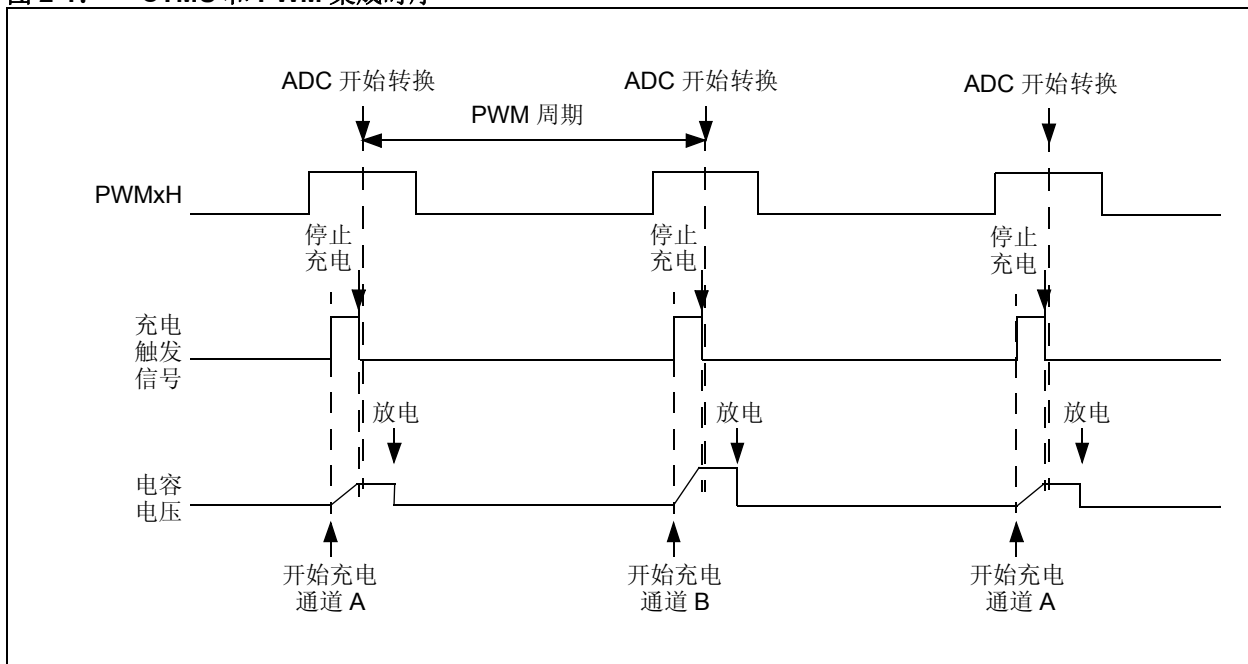
2.3 集成电机控制和 mTouch 功能

dsPIC33FJ16MC102 DSC 可运行在最高 16 MHz 的频率下，具有充足的资源运行电机控制入门工具包演示应用，包括电机控制和 mTouch 功能的演示。

电容式触摸应用需要无噪声环境，而电机控制应用无法提供这样的环境，因为 MOSFET 不断导通和关断会在电源级上产生噪声尖峰。在这种环境下，应该在不开关 MOSFET 时进行电容式滑动条测量。这通过将电容充电时间减至最短、增大充电电流以及将其与 PWM 周期同步来实现。

dsPIC33FJ16MC102 DSC 的 ADC 模块允许同时采样四个不同的模拟通道。由于电机相的 BEMF 反馈需要三个通道，因此还有一个通道可供 CTMU 模块使用。在后续 PWM 周期中对滑动条的两个通道交替进行采样和转换，如图 2-1 所示。

图 2-1: CTMU 和 PWM 集成时序



CTMU 模块使用触发信号启动和停止对滑动条电容的充电。触发信号的工作方式配置为使 ADC 在电容停止充电几纳秒后开始转换。这可确保对电容上的电压采样时不会开关 PWM。

但是，在充电期间避免 PWM 开关事件也很重要。这可在配置中轻松实现，因为占空比通常比电容充电时间大得多。在 ADC 完成对全部四个通道、三个 BEMF 信号和其中一个电容的转换之后，将触发 ADC 中断并对该电容放电，以允许在下一周期对另一个电容进行充电。

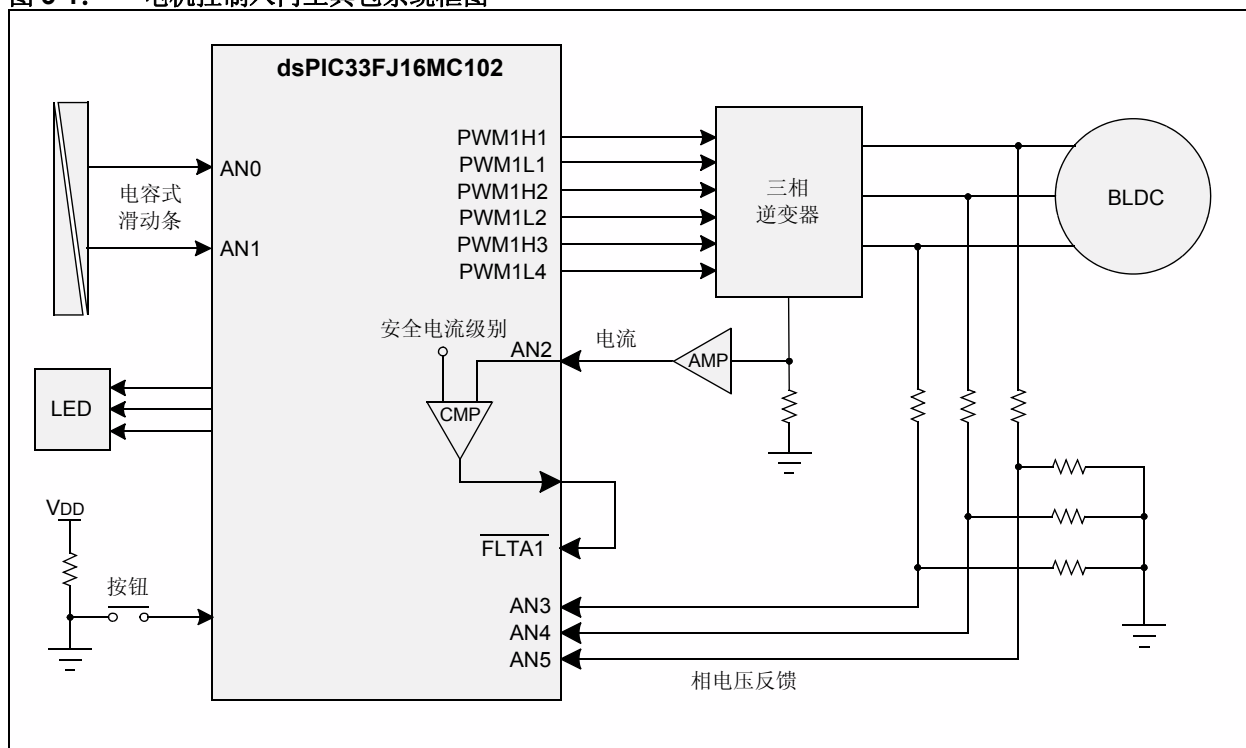
第 3 章 硬件

本章介绍电机控制入门工具包的硬件，包含以下主题：

- 编程器 / 调试器
- 信号配置
- 编程器 / 调试器元件
- 应用元件
- 板上连接器
- 指示灯和人机接口

图 3-1 显示了高阶框图，图中详细说明了入门工具包的主要功能。

图 3-1: 电机控制入门工具包系统框图



入门工具包的应用侧以 dsPIC33FJ16MC102 DSC 为中心，该器件只需要极少的附加硬件即可执行其任务。电机控制入门工具包预编程了集成电机控制和 mTouch 功能的应用程序。电机控制应用算法基于应用笔记 AN1160 《用择多函数实现反电动势滤波的无传感器 BLDC 控制》。

PWM 模块功能强大，通过它可轻松控制三相 BLDC 电机。PWM 模块具有三个互补输出对、硬件故障关断和可编程死区等。标准三相逆变器提供器件和电机之间的接口。

三个 ADC 通道通过读取电机绕组上的电压来提供电机 BEMF 的信息。三个电阻网络将电压调整到 ADC 模块所需的范围内。

此入门工具包采用单电流检测电阻拓扑，可用于过流保护或单电流检测电阻控制算法。

dsPIC33FJ16MC102 DSC 还具有三个模拟比较器。一个内部比较器用于在过流时触发 PWM 模块的故障保护功能。内部比较器的优势是可针对不同电机使用不同的软件阈值来实现过流检测。

演示应用从两个源接受用户输入：电容式滑动条和按钮（S1）。器件的 CTMU 模块与 A/D 转换器配合工作对电容式滑动条的两个通道进行采样和转换。三个用户 LED 也可实现各种显示组合。

随工具包提供的 9V 电源足以支持在独立模式下运行演示应用。在调试模式下，必须使用 9V 电源和 USB 连接。

3.1 编程器 / 调试器

电机控制入门工具包包含板上编程器 / 调试器电路，可通过 USB 进行连接。此电路硬接线到 dsPIC 器件，用于提供 ICSP™ 调试 / 编程功能。

3.2 信号配置

表 3-1 提供了 dsPIC33FJ16MC102 DSC 与入门工具包信号的连接的完整列表，以及演示应用中所用引脚的简要功能说明。

表 3-1: dsPIC33FJ16MC102 DSC 配置详细信息

电机控制入门工具包 电路板上的标记	dsPIC33FJ16MC102		说明 / 功能
	引脚编号	引脚名称	
MOTOR_CURRENT	1	AN2/RP0/CN4/RB0	模拟和比较器输入。
M1_V	2	AN3/RP1/CN5/RB1	模拟相 1 的电压。
M2_V	3	AN4/RP2/CN6/RB2	模拟相 2 的电压。
M3_V	4	AN5/RP3/CN7/RB3	模拟相 3 的电压。
GND	5	Vss	地。
LED_1	6	OSC1/CLKI/CN30/RA2	用户可编程 LED。
PUSHBUTTON	7	OSC2/CLKO/CN29/RA3	S1 按钮。
ICSP_PGED_TARGET	8	PGED3/RP4/CN1/RB4	用于编程 / 调试通信通道 3 的数据 I/O 引脚。
ICSP_PGEC_TARGET	9	PGEC3/T1CK/CN0/RA4	用于编程 / 调试通信通道 3 的时钟输入引脚。
+3.3V_TARGET	10	VDD	外设逻辑和 I/O 引脚的正电源。
+3.3V_TARGET	11	FLTB1/RP5/CN27/RB5	拉为高电平的 PWM 故障 B 输入。
FLTA1	12	FLTA1/RP6/CN24/RB6	PWM 故障 A 输入。
FLTA1	13	INT0/RP7/CN23/RB7	比较器输出。
LED_2	14	TCK/RP8/CN22/RB8	用户可编程 LED。
LED_3	15	TDO/RP9/CN21/RB9	用户可编程 LED。
GND	16	Vss	逻辑和 I/O 引脚的接地参考。
VCAP	17	VCAP	CPU 逻辑滤波电容连接。
PWM1H3	18	PWM1H3/RP10/RB10	PWM 输出。
PWM1L3	19	PWM1L3/RP11/RB11	PWM 输出。
PWM1H2	20	PWM1H2/RP12/RB12	PWM 输出。
PWM1L2	21	PWM1L2/RP13/RB13	PWM 输出。
PWM1H1	22	PWM1H1/RP14/RB14	PWM 输出。
PWM1L1	23	PWM1L1/RP15/RB15	PWM 输出。
AGND	24	AVss	模拟模块的接地参考。对于不包含此引脚的器件，信号在内部连接到 Vss。
+3.3V_ANALOG	25	AVDD	模拟模块的正电源。此引脚必须始终连接。对于不包含此引脚的器件，信号在内部连接到 VDD。
ICSP_MCLR_VPP_TARGET	26	MCLR	主复位输入。
SLIDER_A	27	PGED2/AN0/CN2/RA0	来自滑动条的模拟输入。
SLIDER_B	28	PGEC2/AN1/CN3/RA1	来自滑动条的模拟输入。

电机控制入门工具包用户指南

3.3 编程器 / 调试器元件

表 3-2 介绍了电机控制入门工具包上的编程器 / 调试器元件（关于元件位置，请参见图 1-1 和图 1-2）。

表 3-2: 编程器 / 调试器元件

元件	标记	图编号	项目编号	说明
顶层装配元件				
编程器 / 调试器电源 LED	D2	1-1	10	点亮时，表示正通过 USB 为 PIC24FJ256GB106 MCU 供电，目标 MCU 可能设置为在调试模式下工作。
底层装配元件				
板上编程器 / 调试器	N/A	1-2	2	控制目标 dsPIC33FJ16MC102 DSC 的编程 / 调试操作。
编程器 / 调试器 USB 连接器	J1	1-2	3	提供系统电源以及主机 PC 和入门工具包之间的双向通信。

3.4 应用元件

表 3-3 介绍了电机控制入门工具包上的应用元件（关于元件位置，请参见图 1-1 和图 1-2）。

表 3-3: 应用元件

元件	标记	图编号	项目编号	说明
顶层装配元件				
dsPIC33FJ16MC102 DSC	U4	1-1	1	为入门工具包上的演示应用和应用开发提供处理能力。该 DSC 具有 16 KB 的闪存程序存储器和 1 KB 的 RAM。演示应用使用 DSC 带 PLL 的片上 FRC 振荡器作为时钟源。
电机连接器	J5	1-1	2	BLDC 电机通过 6 引脚连接器连接到入门工具包电路板。电机的三个相连接到引脚 1、2 和 3，而其他引脚保持不连接状态。
9V 电源连接器	J3	1-1	3	9V 电源为入门工具包上的 dsPIC33FJ16MC102 DSC 和电机控制电路供电。要操作入门工具包，请将随入门工具包提供的电源（AC162039）连接到 J3。
三相逆变器	N/A	1-1	4	Microchip 的 TC4428 双 MOSFET 驱动器提供低电压控制部分 dsPIC33FJ16MC102 DSC 和应用的功率部分（即 MOSFET）之间的接口。这些驱动器为 MOSFET 提供电流以及适当的电压，使上桥臂 PWM 反相以驱动 P 沟道 MOSFET，同时保持与 N 沟道 MOSFET 相等的延时。 三相逆变器具有三个通过双 N 沟道和 P 沟道 MOSFET 实现的半桥。尽管 MOSFET 能够驱动更高的电流，但 10W 电源将最大电流限制到约 800 mA。在此功率级别无需外部散热片。
BLDC 电机	N/A	1-1	5	随电机控制入门工具包提供了一个三相 BLDC 电机（Shinano DR-29312）。第 1 章 “简介” 的表 1-3 中提供了电机规格。

表 3-3: 应用元件 (续)

元件	标记	图编号	项目编号	说明
顶层装配元件				
BEMF 反馈	N/A	1-1	6	构成三个分压器的六电阻网络, 与电机绕组连接, 用于测量电机的 BEMF, 为在无传感器模式下驱动电机提供所需的反馈。根据 ADC 测量值, 用软件重建电机虚拟中性点。选择电阻值时考虑了电机端子上的最大 BEMF 电压和 ADC 输入引脚允许的最大电压。
电流反馈	N/A	1-1	7	此入门工具包上实现了单电流检测电阻拓扑, 采用 0.5Ω 的电流检测电阻。一个 MCP6021 运算放大器以 $2.5V/A$ 的分辨率为 ADC 通道提供电流输入, 无偏置电压。可在 R60 和 R62 上安装 $10\text{ K}\Omega$ 电阻配置为 $1.67V$ 偏置电压。
按钮	S1	1-1	8	这个简单的按钮可用作器件的输入。按下按钮时, 相应的端口引脚为低电平。
电源 LED	D4	1-1	9	点亮时, 表示正在从 $3.3V$ 稳压器为 dsPIC33FJ16MC102 DSC 供电。
电容式滑动条	N/A	1-1	11	电容式滑动条是电路板顶层的主要部分。应用通过器件的集成 CTMU 模块监视每块滑动条焊盘来响应用户直接触摸所引起的电容变化。
用户可编程 LED	D5、D6 和 D7	1-1	12	应用可使用三个用户可编程 LED。当相应端口引脚设置为高电平时, LED 点亮。
底层装配元件				
电源稳压器	N/A	1-2	1	此入门工具包的应用侧包含两个电源稳压器, 用于将 $9V$ 输入转换为其他入门工具包元件所需的电压。 $3.3V$ 稳压器为 dsPIC33FJ16MC102 DSC、反馈电路、用户 LED 和按钮供电。该稳压器的最大功率为 $0.5W$ 。 另一个稳压器提供 $12V$ 电压, 用于为三相逆变器供电以及驱动 BLDC 电机。该稳压器的最大功率为 $10W$ 。

3.5 板上连接器

表 3-4 介绍了电机控制入门工具包上的硬件连接 (关于元件位置, 请参见图 1-1 和图 1-2)。

表 3-4: 板上连接器

标记	说明
J1	板上编程器 / 调试器和主机计算机之间的 Mini-B USB 连接。
J2	用于编程实现 PIC24FJ256GB106 MCU 的 USB 到 UART 桥接的 ICSP™ 编程接口连接器。
J3	$9V$ 电路板电源输入。
J4	用于编程 dsPIC33FJ16MC102 DSC 的 ICSP 编程接口连接器。
J5	BLDC 电机连接器。

3.6 指示灯和人机接口

表 3-5 介绍了入门工具包上的用户交互接口（关于元件位置，请参见图 1-1 和图 1-2）。

表 3-5: 指示灯和人机接口

标记	硬件元件说明
S1	连接到一个端口引脚的按钮。当短暂按下时，开关将相应的端口引脚连接到地。
D2	USB 总线指示灯，指示器件是否连接到 USB 总线以及编程器 / 调试器是否上电。
D4	上电状态 LED，指示电路板是否接通 9V 电源。
D5-D7	用户可编程 LED。每个 LED 连接到一个端口引脚。相应端口引脚设置为高电平时，LED 点亮。
滑动条 A-B	双通道电容式滑动条。每个通道连接到一个模拟输入引脚。

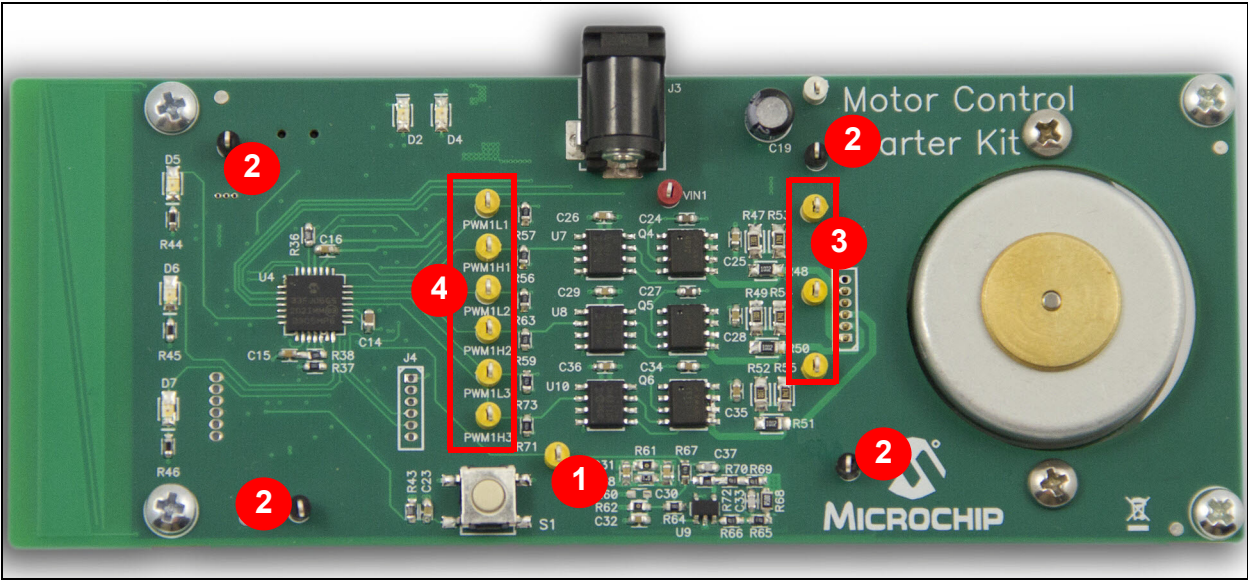
3.7 测试点

表 3-6 介绍了入门工具包上的测试点（关于测试点的位置，请参见图 3-2）。

表 3-6: 测试点

测试点	项目编号	说明
MOTOR_CURRENT	1	电机电流反馈（2.5V/A）。
GND	2	四个电路板接地测试点。
M1_V、M2_V 和 M3_V	3	相 1、相 2 和相 3 BEMF 电压反馈（148 mV/V）。
PWM1Hx/PWM1Lx	4	三个互补 PWM 对。

图 3-2: 电机控制入门工具包电路板测试点位置



附录 A 布线、原理图和物料清单

A.1 入门工具包电路板布线

图 A-1: 入门工具包电路板布线 (顶层)

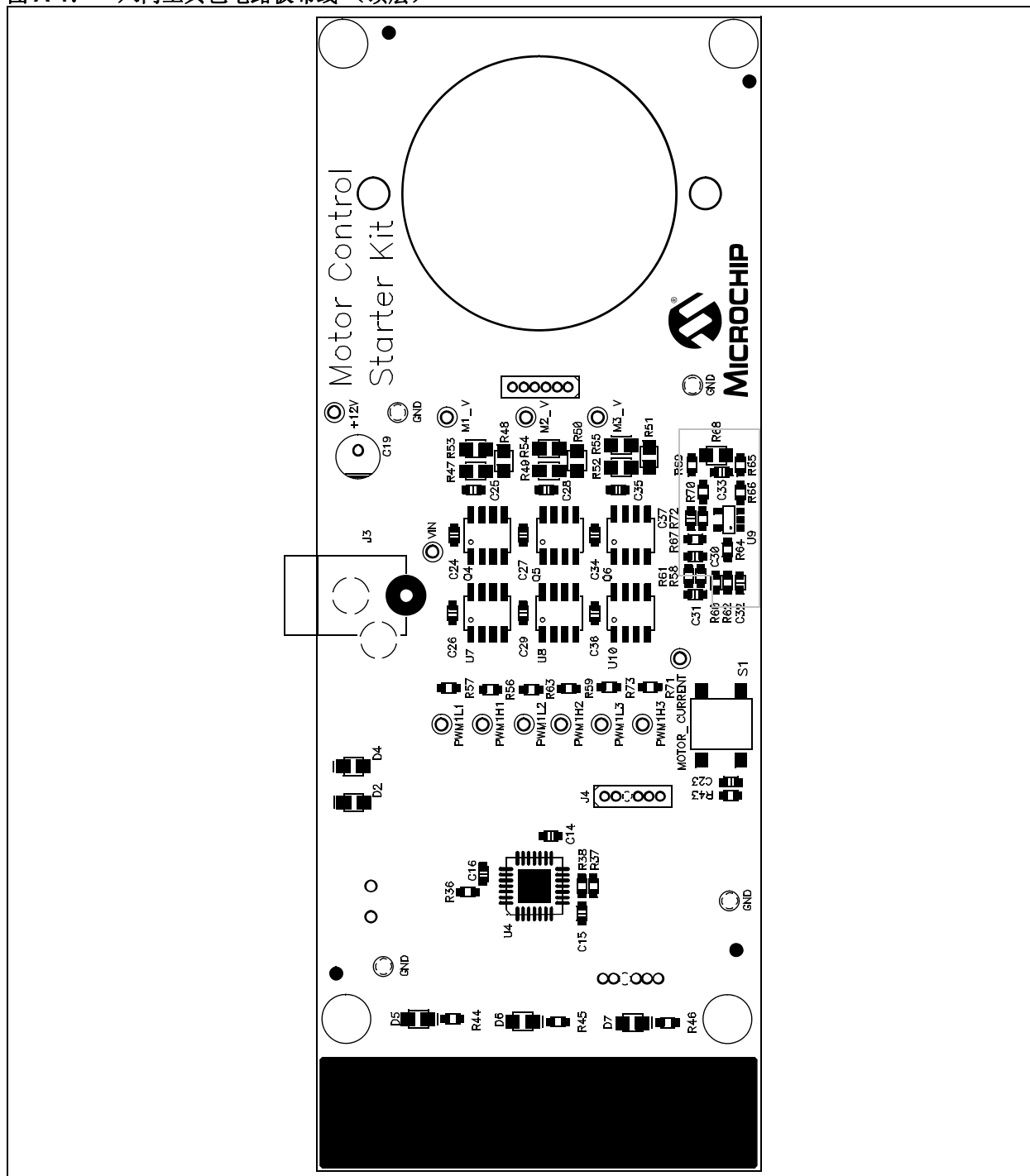
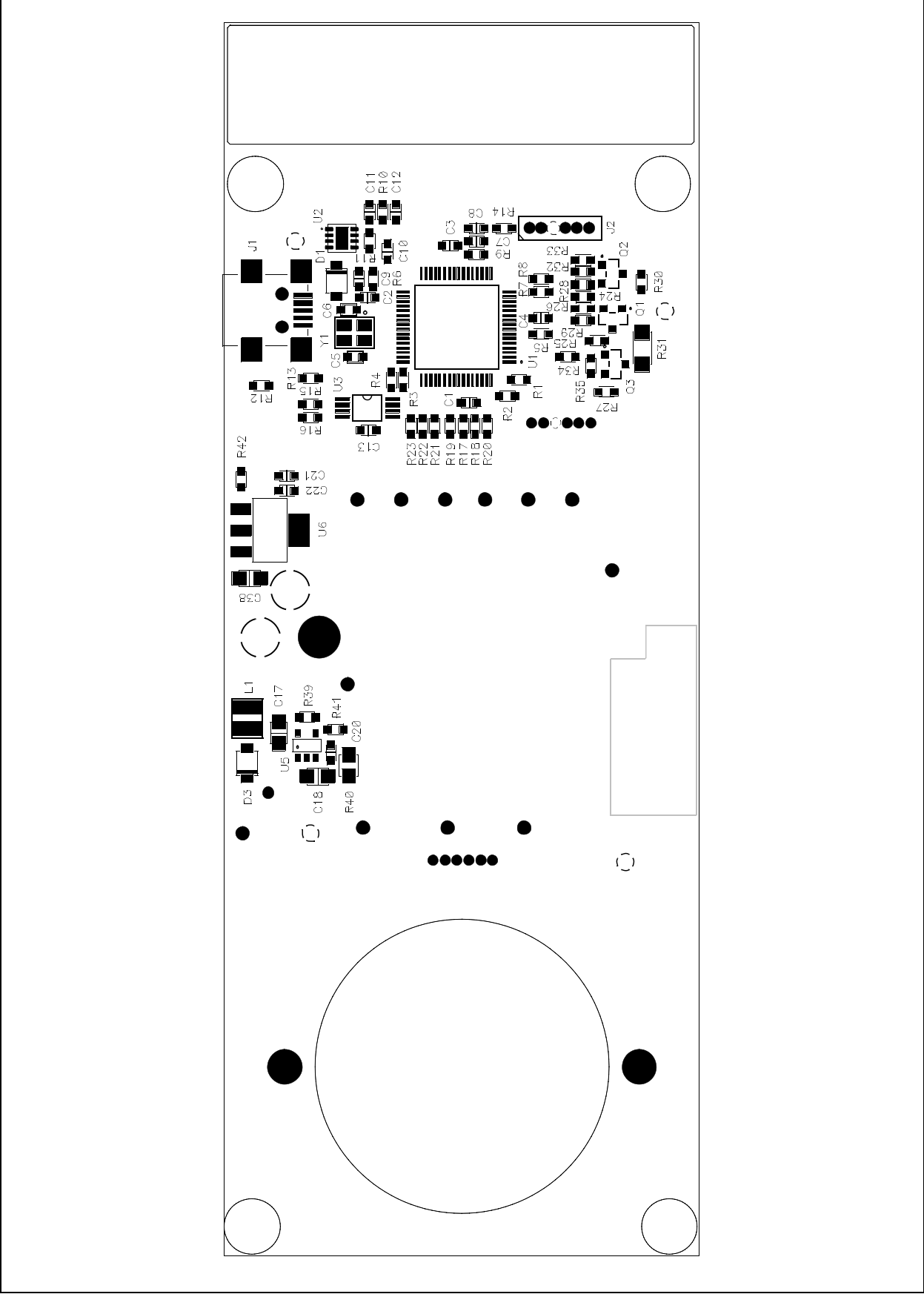
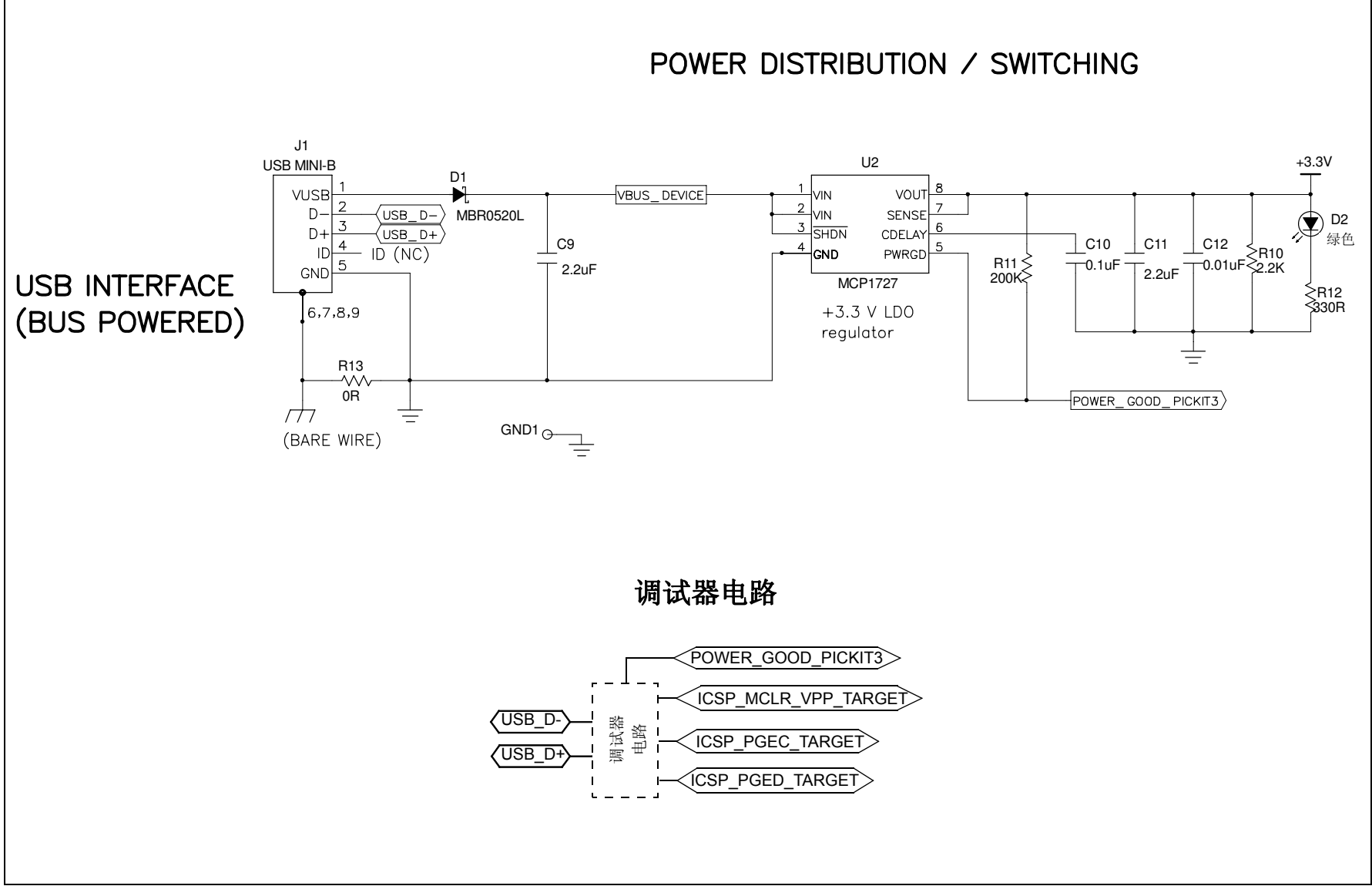


图 A-2: 入门工具包电路板布线 (底层)



A.2 调试器硬件原理图

图 A-3: 供电 / 开关



A.3 应用原理图

图 A-4: 目标电源

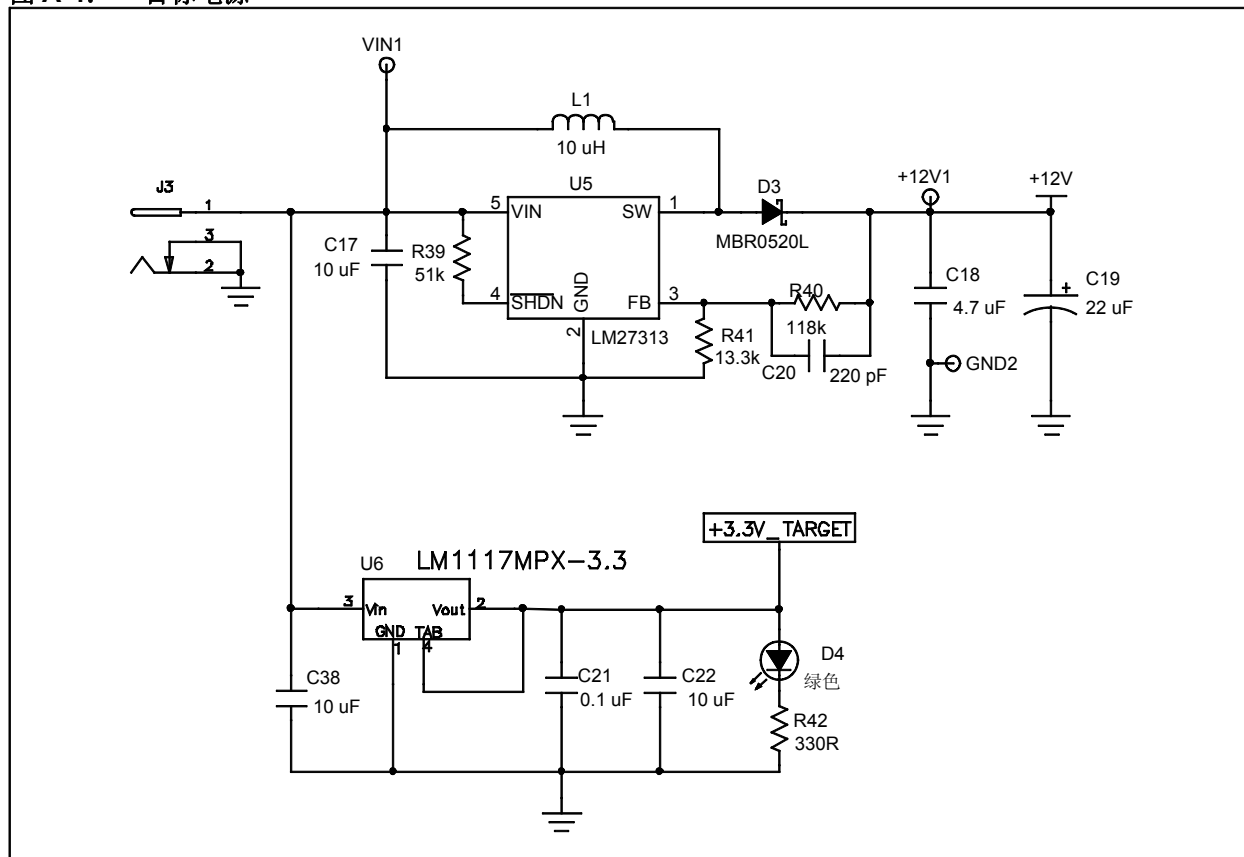


图 A-5: 电机插座

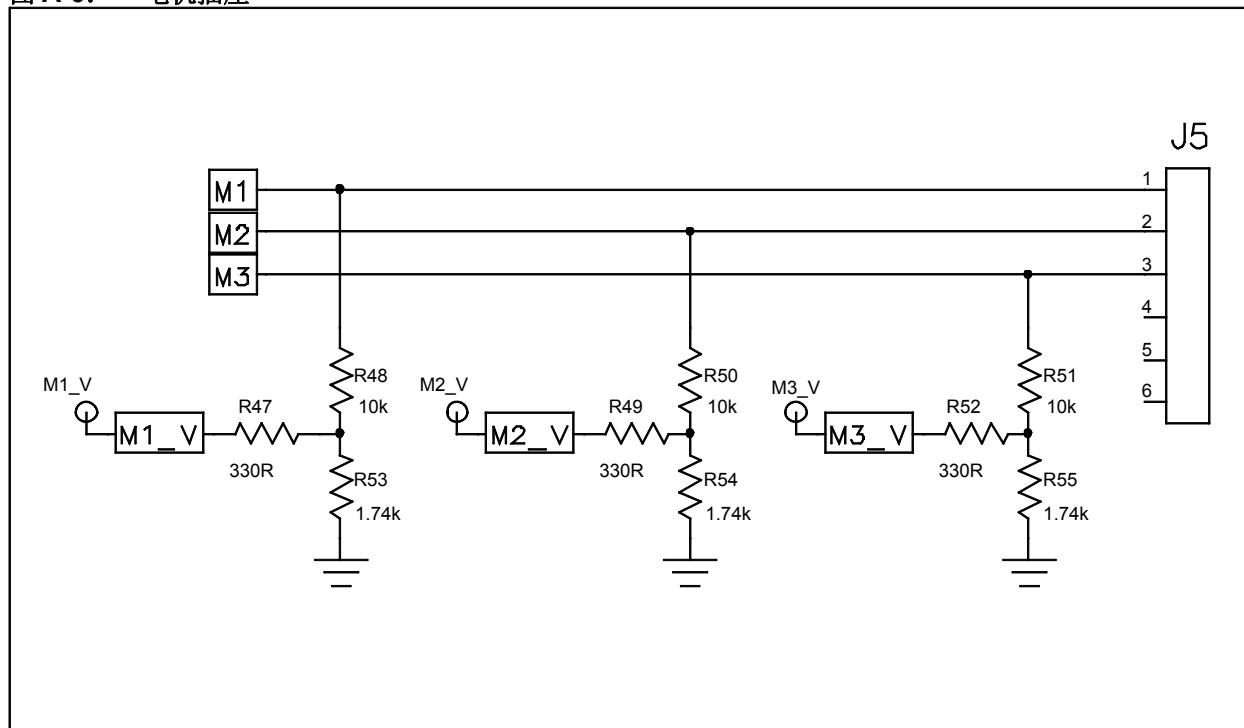


图 A-6: dsPIC33FJ16MC102 数字信号控制器

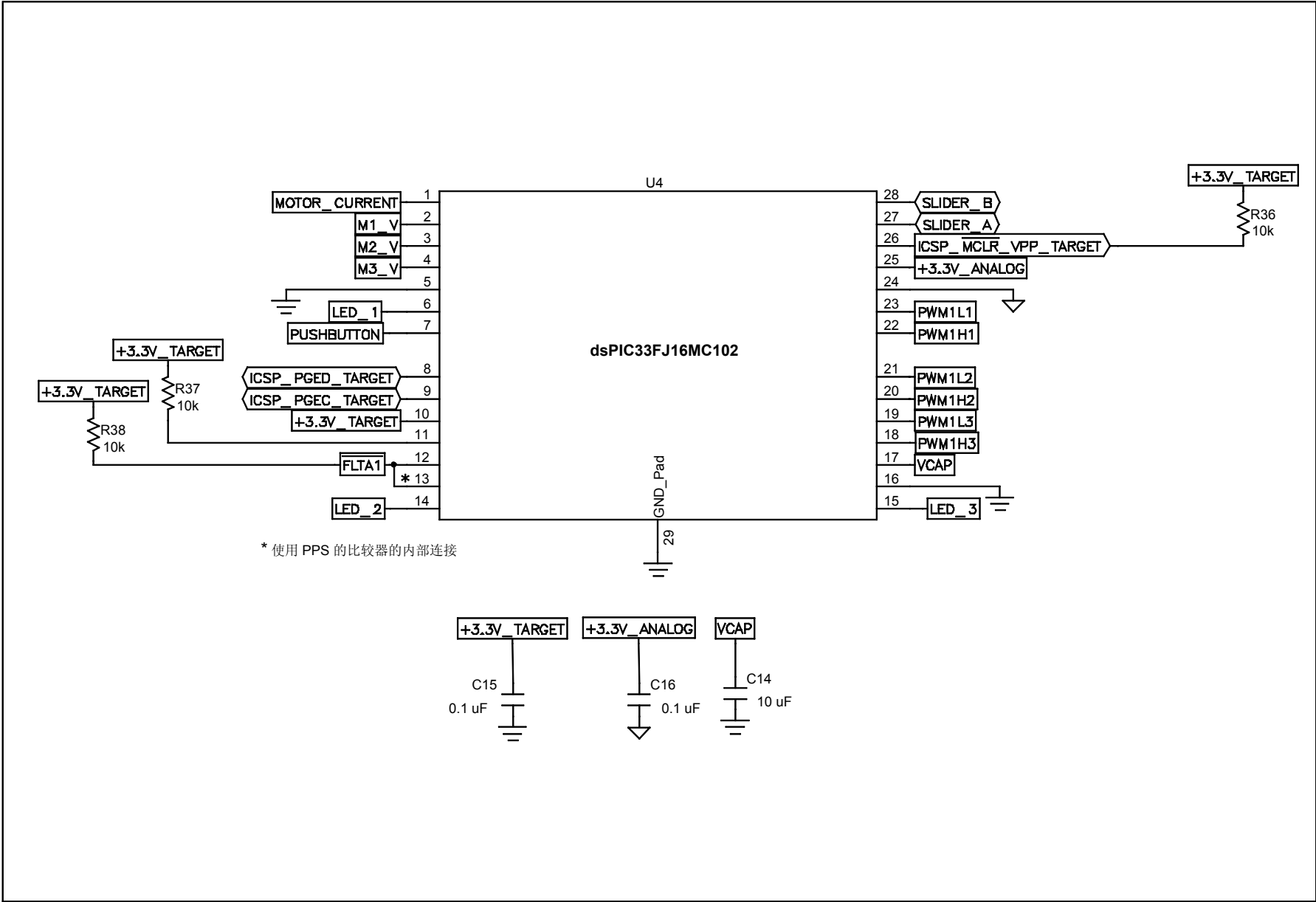


图 A-7： 电机控制逻辑

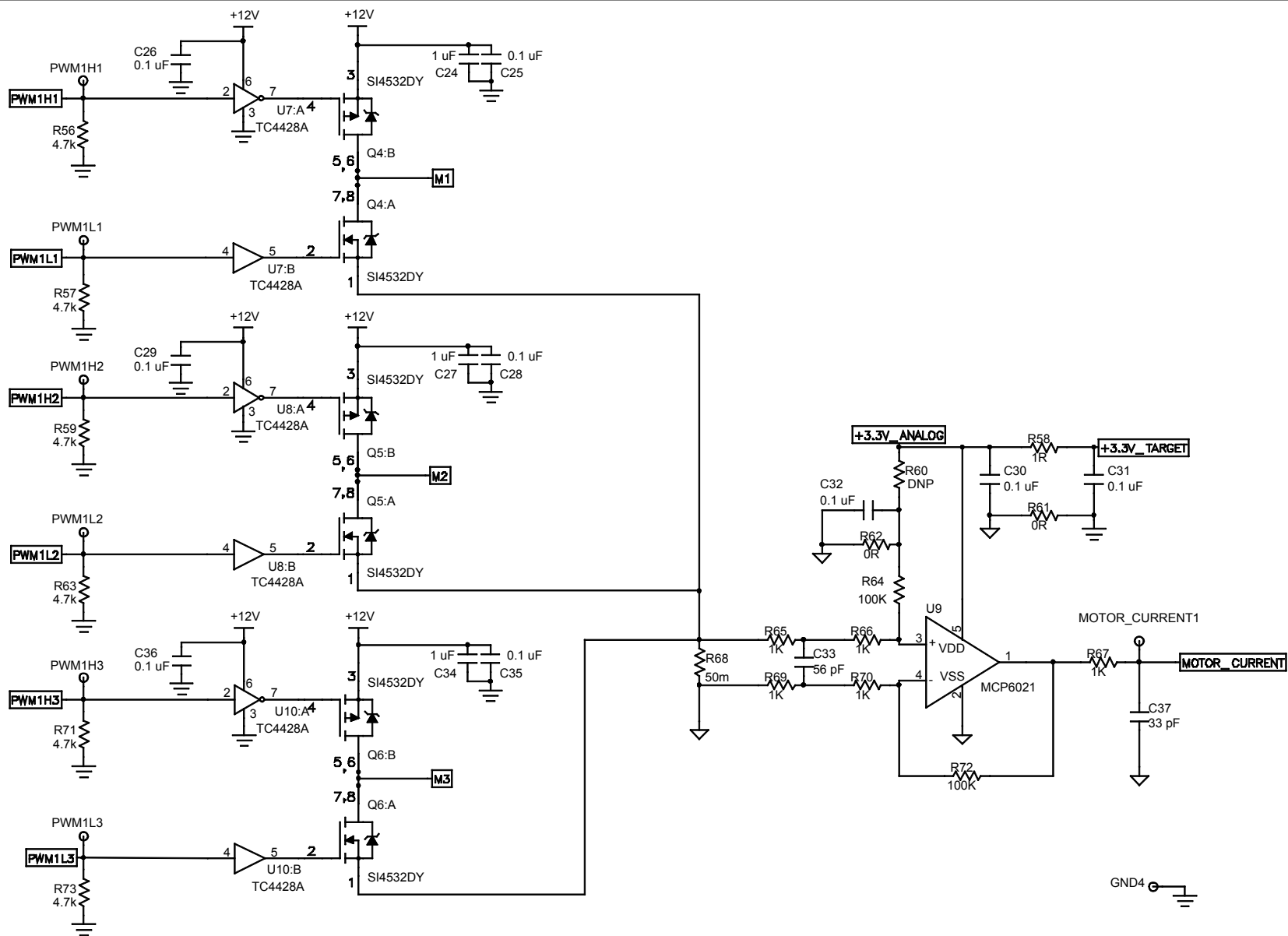


图 A-8: 电容式触摸滑动条

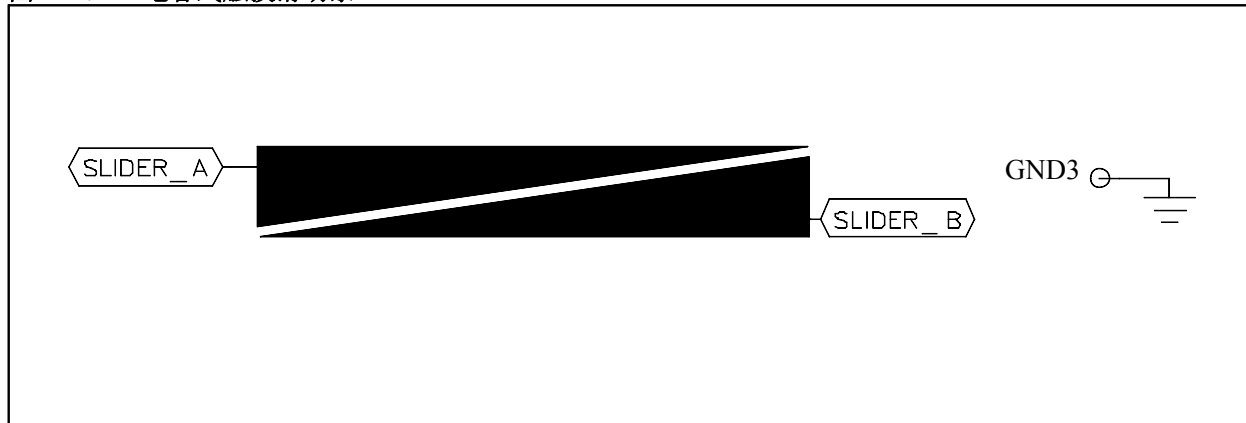


图 A-9: 按钮

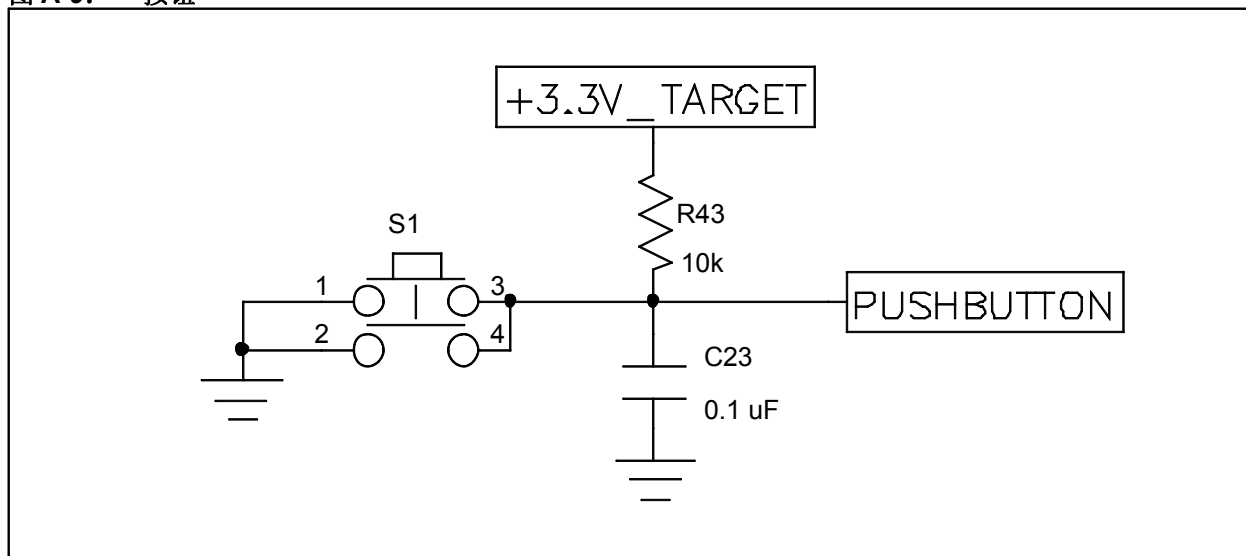


图 A-10: ICSP™ 目标

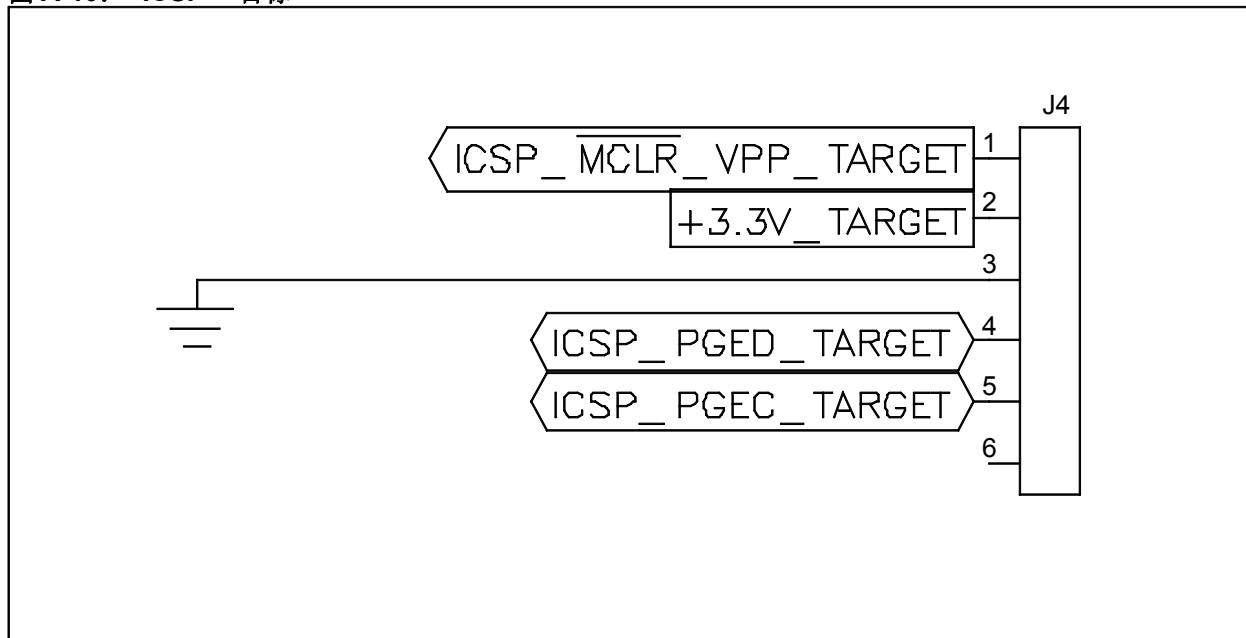
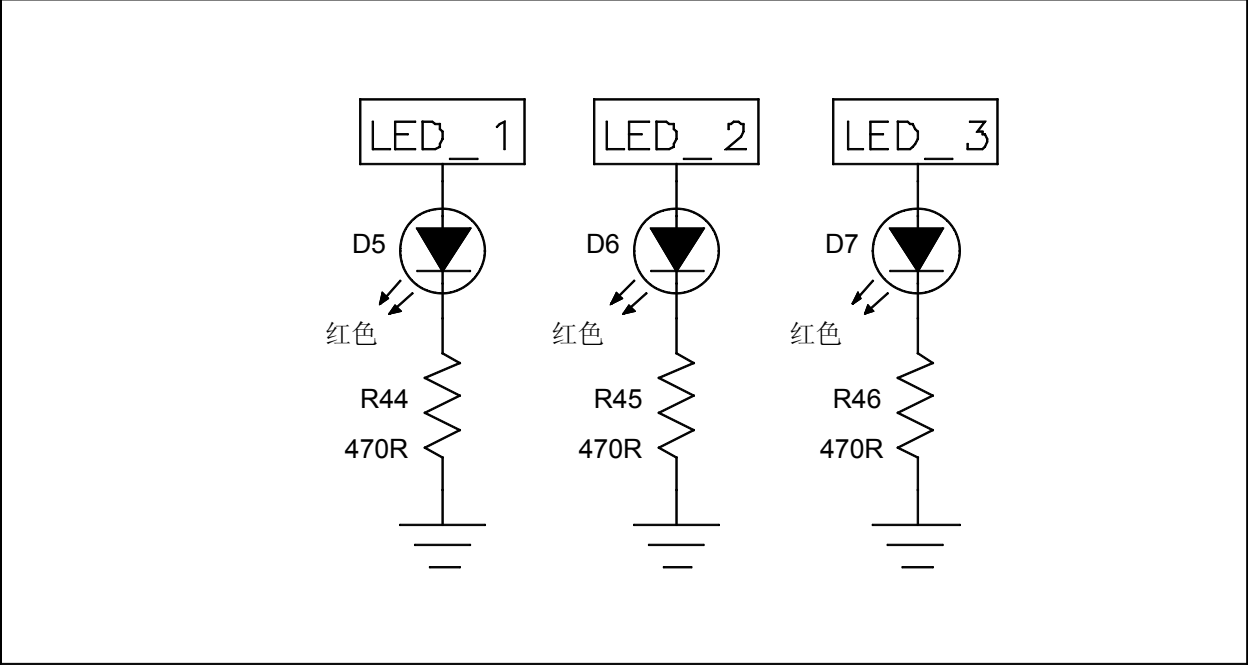


图 A-11： 用户可编程 LED



A.4 物料清单 (BOM)

表 A-1: 电机控制入门工具包物料清单 (BOM)

数量	编号	说明	制造商	制造商部件编号
1	C12	CAP CER 10000PF 16V 10% X7R 0603	Murata	GRM188R71C103KA01D
18	C2, C3, C4, C8, C10, C15, C16, C21, C23, C25, C26, C28, C29, C30, C31, C32, C35, C36	CAP .10UF 16V CERAMIC X7R 0603	Yageo	CC0603KRX7R7BB104
5	C7, C13, C24, C27, C34	CAP 1.0UF 16V CERAMIC X7R 0805	Kemet	C0805C105K4RACTU
2	C9, C11	CAP CER 2.2UF 16V X5R 0603	TDK	C1608X5R1C225K
3	C1, C14, C22	CAP CER 10UF 6.3V Y5V 0603	TDK	C1608Y5V0J106Z
1	C37	CAP CER 33PF 50V 5% C0G 0603	Murata	GCM1885C1H330JA16D
1	C33	CAP CER 56PF 50V 5% C0G 0603	Murata	GRM1885C1H560JA01D
1	C20	CAP CER 220PF 50V C0G 5% 0603	TDK	C1608C0G1H221J
1	C18	CAP CER 4.7UF 25V Y5V 0805	TDK	C2012Y5V1E475Z
2	C17, C38	CAP CER 10UF 16V Y5V 0805	TDK	C2012Y5V1C106Z
2	C5, C6	CAP CER 8.0PF 50V C0G 0603	TDK	C1608C0G1H080D
1	C19	22UF 25V MINI ALUM ELECT (KA)	Panasonic-ECG	ECE-A1EKA220
1	J3	CONN PWR JACK 2.5X5.5MM HIGH CUR	Cui Inc.	PJ-102BH
1	J1	CONN RECEPT MINI USB2.0 5POS	Hirose	UX60-MB-5ST
1	Y1	CRYSTAL 12.000000 MHZ SMD 8PF	NDK	NX3225SA-12.000000MHZ
2	D1, D3	DIODE SCHOTTKY 0.5A 20V SOD-123	Fairchild	MBR0520L
1	L1	10 uH 功率电感	Coil Craft	ME3220-103
2	D2, D4	LED ALINGAP GRN CLEAR 0805 SMD	Dialight	598-8170-107F
3	D5, D6, D7	LED ALINGAP RED-ORN CLR 0805 SMD	Dialight	598-8120-107F
6	R13, R18, R22, R27, R61, R62	RES 0.0 OHM 1/10W 0603 SMD	Stackpole	RMCF0603ZT0R00
6	R7, R65, R66, R67, R69, R70	RES 1K OHM 1/10W 1% 0603 SMD	Stackpole	RMCF 1/16 1K 1% R
1	R58	RESISTOR 1.0 OHM 1/10W 1% 0603	Panasonic-ECG	ERJ-3RQF1R0V
2	R10, R16	RES 2.20K OHM 1/10W 1% 0603 SMD	Panasonic-ECG	ERJ-3EKF2201V
2	R28, R29	RES 2.21K OHM 1/10W 1% 0603 SMD	Stackpole	CF 1/16 2.21K 1% R
1	R8	RES 3.16K OHM 1/10W 1% 0603 SMD	Stackpole	RMCF0603FT3K16
1	R24	RES 3.92K OHM 1/10W 1% 0603 SMD	Panasonic-ECG	ERJ-3EKF3921V
8	R20, R23, R56, R57, R59, R63, R71, R73	RES 4.70K OHM .25W 1% 0603 SMD	Vishay	CRCW06034K70FKEAHP
14	R1, R3, R4, R9, R14, R15, R26, R30, R32, R34, R36, R37, R38, R43	RES 10.0K OHM 1/10W 1% 0603 SMD	Vishay	CRCW060310K0FKEA
1	R68	RES 0.5 OHM 1/4W 1% 0805 SMD	Stackpole	CSR0805FKR500
1	R41	RES 13.3K OHM 1/10W 1% 0603 SMD	Stackpole	RMCF0603FT13K3
1	R39	RES 51.0K OHM 1/10W 1% 0603 SMD	Yageo	RC0603FR-0751KL
3	R25, R64, R72	RES 100K OHM .25W 1% 0603 SMD	Vishay	CRCW0603100KFKEAHP
1	R6	RES 100 OHM 1/10W 1% 0603 SMD	Panasonic-ECG	ERJ-3EKF1000V
2	R2, R11	RES 200K OHM 1/10W 1% 0603 SMD	Panasonic-ECG	ERJ-3EKF2003V
6	R5, R12, R17, R19, R21, R42	RES 330 OHM 1/10W 1% 0603 SMD	Stackpole	RMCF0603FT330R
3	R44, R45, R46	RES 470 OHM 1/10W 1% 0603 SMD	Panasonic-ECG	ERJ-3EKF4700V

电机控制入门工具包用户指南

表 A-1: 电机控制入门工具包物料清单 (BOM) (续)

数量	编号	说明	制造商	制造商部件编号
3	R53, R54, R55	RES 1.74K OHM 1/8W 1% 0805 SMD	Rohm semi	MCR10EZPF1741
3	R48, R50, R51	RES 10K OHM 1/8W 1% 0805 SMD	Stackpole	RMCF0805FT10K0
1	R40	RES 118K OHM 1/8W 1% 0805 SMD	Rohm	MCR10EZPF1183
3	R47, R49, R52	RES 330 OHM 1/8W 1% 0805 SMD	Rohm	MCR10EZPF3300
1	R31	RES 100 OHM 1/4W 1% 1206 SMD	Vishay	CRCW1206100RFKEA
1	R33	DNP (不需安装)	—	—
1	R35	DNP	—	—
1	R60	DNP	—	—
1	S1	SWITCH TACT 6MM 160GF H=4.3MM	Omron	B3S-1000P
1	Q1	TRANS PNP 40V 300MW SMD SOT23-3	Diodes Inc.	MMBT3906-7-F
2	Q2, Q3	TRANSISTOR GP NPN AMP SOT-23	Fairchild	MMBT3904
1	U1	IC PIC MCU FLASH 256K 64-TQFP	Microchip	PIC24FJ256GB106-I/PT
1	U2	IC REG LDO 1.5A 3.3V 8DFN	Microchip	MCP1727-3302E/MF
1	U3	IC EEPROM 256KBIT 10MHZ 8TSSOP	Microchip	25LC256-I/ST
1	U4	dsPIC33FJ16MC102	Microchip	
1	U5	IC CONV BOOST SW 1.6MHZ SOT23-5	National	3XMF/NOPB
1	U6	IC REG LDO 800MA 3.3V SOT-223	National	LM1117MPX-3.3/NOPB
3	U7, U8, U10	IC MOSFET DVR 1.5A DUAL HS 8SOIC	Microchip	TC4428AEOA
1	U9	IC OPAMP 2.5V R-R I/O SOT23-5	Microchip	MCP6021T-E/OT
3	Q4, Q5, Q6	MOSFET N/P-CH DUAL 30V SO-8	Fairchild	SI4532DY
4	GND1, GND2, GND3, GND4	TEST POINT PC MINI .040"D BLACK	Keystone	5001
1	VIN	TEST POINT PC MINI .040"D RED	Keystone	5000
1	+12V	TEST POINT PC MINI .040"D WHITE	Keystone	5002
10	M1_V, M2_V, M3_V, MOTOR_CURRENT, PWM1L1, PWM1H1, PWM1L2, PWM1H2, PWM1L3, PWM1H3	TEST POINT PC MINI .040"D YELLOW	Keystone	5004
4	—	STANDOFF HEX .750"L 4-40THR NYL	Keystone	1902D
4	—	SCREW MACH PHIL 4-40X1/4 NYLON	Keystone	NY PMS 440 0025 PH
2	—	SCREW MACH PHIL 4-40X1/4 NYLON	B&F	NY PMS 440 0050 PH
2	—	NUT HEX 4-40 NYLON	B&F	NY HN 440
2	—	SPACER NYLON #4 SCREW 3/16"	Bivar Inc.	9908-187
1	—	电机 (NDR-TH_0.05-1X6)	ShinanoKenshi	DR-29312-026

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](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

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

克里夫兰 Cleveland
Independence, OH
Tel: 1-216-447-0464
Fax: 1-216-447-0643

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

底特律 Detroit
Farmington Hills, MI
Tel: 1-248-538-2250
Fax: 1-248-538-2260

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

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

圣克拉拉 Santa Clara
Santa Clara, CA
Tel: 1-408-961-6444
Fax: 1-408-961-6445

加拿大多伦多 Toronto
Mississauga, Ontario,
Canada
Tel: 1-905-673-0699
Fax: 1-905-673-6509

亚太地区

亚太总部 **Asia Pacific Office**
Suites 3707-14, 37th Floor
Tower 6, The Gateway
Harbour City, Kowloon
Hong Kong
Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000
Fax: 86-10-8528-2104

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511
Fax: 86-28-8665-7889

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588
Fax: 86-23-8980-9500

中国 - 杭州
Tel: 86-571-2819-3187
Fax: 86-571-2819-3189

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2401-1200
Fax: 852-2401-3431

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460
Fax: 86-25-8473-2470

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355
Fax: 86-532-8502-7205

中国 - 上海
Tel: 86-21-5407-5533
Fax: 86-21-5407-5066

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829
Fax: 86-24-2334-2393

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8203-2660
Fax: 86-755-8203-1760

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300
Fax: 86-27-5980-5118

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252
Fax: 86-29-8833-7256

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138
Fax: 86-592-238-8130

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040
Fax: 86-756-321-0049

亚太地区

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-536-4818
Fax: 886-7-330-9305

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2500-6610
Fax: 886-2-2508-0102

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-5778-366
Fax: 886-3-5770-955

澳大利亚 Australia - Sydney
Tel: 61-2-9868-6733
Fax: 61-2-9868-6755

印度 India - Bangalore
Tel: 91-80-3090-4444
Fax: 91-80-3090-4123

印度 India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631
Fax: 91-11-4160-8632

印度 India - Pune
Tel: 91-20-2566-1512
Fax: 91-20-2566-1513

日本 Japan - Osaka
Tel: 81-66-152-7160
Fax: 81-66-152-9310

日本 Japan - Yokohama
Tel: 81-45-471- 6166
Fax: 81-45-471-6122

韩国 Korea - Daegu
Tel: 82-53-744-4301
Fax: 82-53-744-4302

韩国 Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200
Fax: 82-2-558-5932 或
82-2-558-5934

马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-6201-9857
Fax: 60-3-6201-9859

马来西亚 Malaysia - Penang
Tel: 60-4-227-8870
Fax: 60-4-227-4068

菲律宾 Philippines - Manila
Tel: 63-2-634-9065
Fax: 63-2-634-9069

新加坡 Singapore
Tel: 65-6334-8870
Fax: 65-6334-8850

泰国 Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351
Fax: 66-2-694-1350

欧洲

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

丹麦 Denmark-Copenhagen
Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

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

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

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

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

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

英国 UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5869
Fax: 44-118-921-5820