

PIC16F 全桥 D 类音频放大器

作者: *Willem J. Smit*
Microchip Technology Inc.

简介

本应用笔记着重介绍如何使用 PIC16F 单片机 (MCU) 实现低成本的 D 类全桥音频放大器。

D 类放大器的基本操作是将模拟输入信号转换为脉宽调制器 (Pulse-Width Modulator, PWM) 输出。PWM 输出用于驱动一对 PMOSFET 和 NMOSFET 以提供放大功能。然后, 放大后的信号经过一个 X 阶低通 LC 滤波器进行外部滤波, 这将重现原始模拟信号, 除了信号被放大外。

由于 MOSFET 的工作方式是完全关断或完全导通, 因此 D 类放大器的效率明显高于线性放大器。这是因为在放大器电路中转换成热量散失的功耗较少。

相比之下, D 类放大器的效率可轻松达到约 90% 以上, 而典型 A 类线性放大器的最大理论效率只约为 50%, 这是因为后者的工作方式设计为始终导通。

本应用笔记将提供使用 PIC16(L)F1769 和几个独立于内核的外设 (Core Independent Peripheral, CIP) 实现低成本、低功耗和全桥 D 类音频放大器的示例。本示例采用极少数元件并设计为以小型紧凑的外形实现。

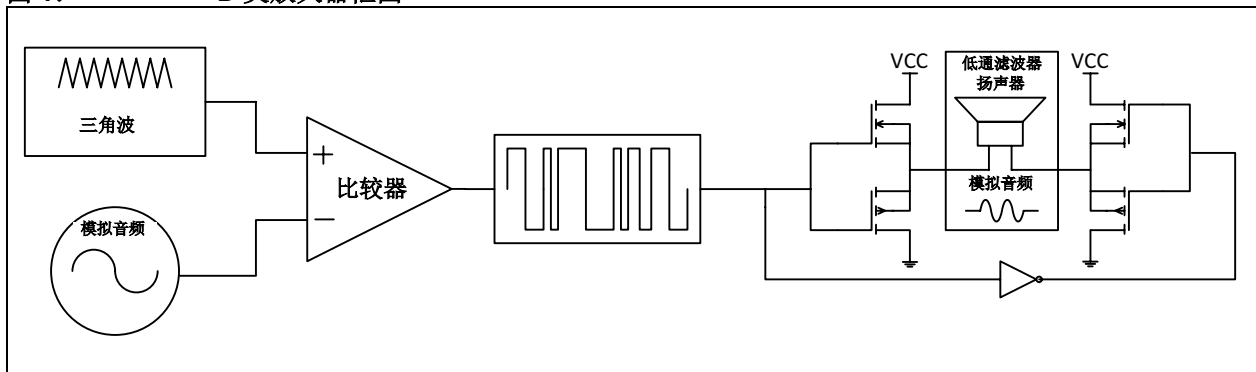
D 类拓扑

D 类放大器需要几个主要组件才能正常工作。列示如下:

- 输入信号
- 三角波发生器
- 比较器
- PWM 输出级
- 放大模块
- 低通滤波器

图 1 展示了 D 类放大器的基本工作原理。

图 1: D 类放大器框图



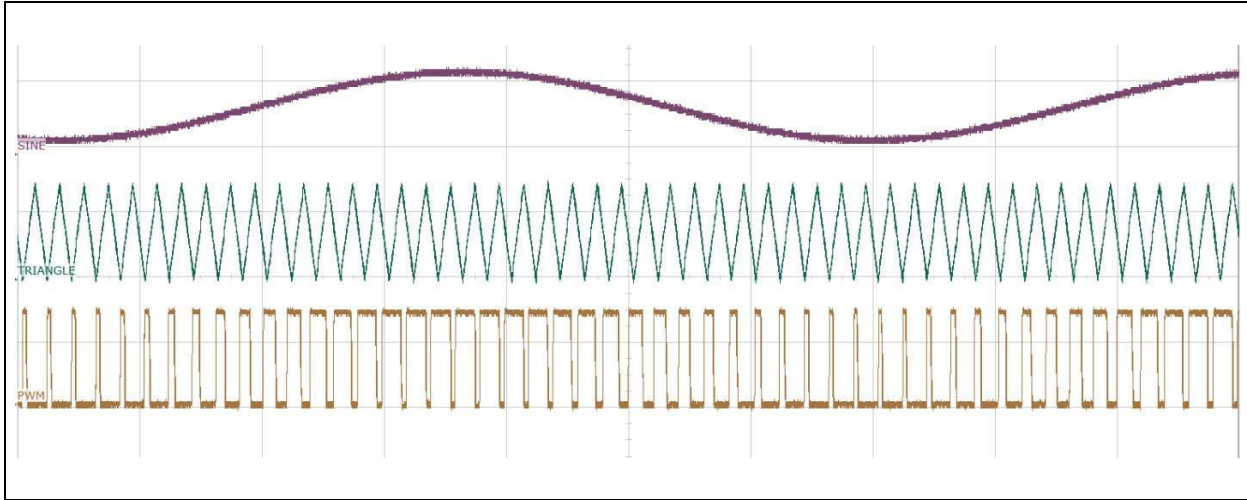
AN2236

输入信号、三角波和比较器（CMP）结合使用，产生 PWM 信号，随后进行放大。

PWM 的占空比与模拟信号的幅度成正比。随着幅度的增大或减小，PWM 占空比也相应增大或减小。比较器产生的输出是原始模拟输入信号的 PWM 数字表示。

图 2 展示了该输出。

图 2: PWM 信号与模拟信号幅度成正比



放大 PWM 输出时，可使用半桥或全桥放大级。如图 1 所示，该 D 类放大器应用采用全桥放大级实现，这意味着其差分驱动扬声器。由于能量由放大器反馈给电源，降低电源轨电压波动，因此全桥拓扑提供比半桥拓扑更佳的性能。

采用全桥级时，有两个互补的半桥级，从而任一侧都提供一个到地的通路。因此，反馈给电源的能量较少。另外，全桥拓扑还有助于消除直流偏移和谐波失真。由于全桥拓扑是差分驱动的，还可产生两倍于扬声器的摆幅，从而相对于半桥拓扑最大功率输出有所提高。

D 类放大器的滤波级取决于用户想要如何准确地重现原始输入模拟信号或音频信号。需要在组件数量和保持原始模拟信号程度以及音频输出的最终质量之间作出权衡。建议将低通 LC 滤波器用于 D 类放大器。

LC 滤波器没有内部阻抗，因此它不会耗费能量，消耗能量会导致音频音量降低和效率减小。许多 D 类放大器

可使用 1 阶或 2 阶 LC 滤波器提供最佳性能。在其他情况下，D 类放大器应用可简单依靠扬声器的线圈电容和电感充当 LC 低通滤波器。在许多情况下，根据应用中所需的音频质量，扬声器本身作为低通 LC 滤波器已足够。

采用 PIC16(L)F1769 实现全桥 D 类音频放大器

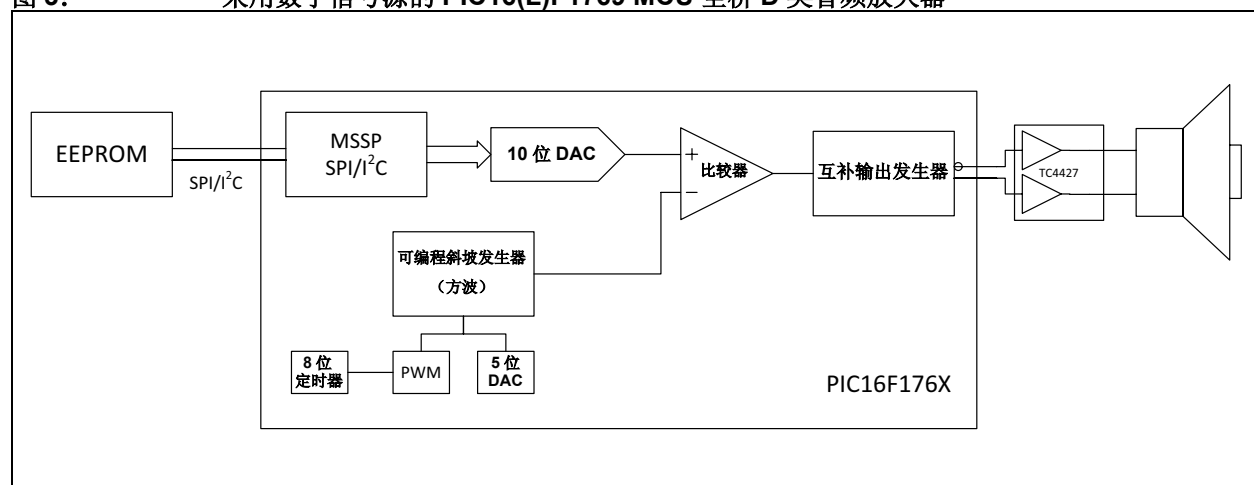
要实现图 1 中的 D 类放大器，需要使用一个 PIC16(L)F1769 MCU，其 CIP 和其他片内外设起主要作用。需要以下外设：

- 主同步串行口（Master Synchronous Serial Port, MSSP）
- 数模转换器（5 和 10 位 DAC）
- Timer2 和 Timer4
- 可编程斜坡发生器（Programmable Ramp Generator, PRG）
- 电压比较器（Voltage Comparator, CMP）
- 互补输出发生器（Complementary Output Generator, COG）

图 3 展示了如何使用和配置 PIC16(L)F1769 MCU 的这些外设设计带有音频播放功能的全桥 D 类音频放大器。

本应用中音频源以数字形式存储在外部 EEPROM 中，可通过 MSSP 回读。还可修改该应用以使用 UART 将数字数据从计算机传输到其他源。在接收到数字音频数据后，通过馈送给 10 位 ADC 将其转换为模拟信号。还可简单修改该应用以绕过数字输入方法而直接将模拟信号提供给比较器的正输入端。

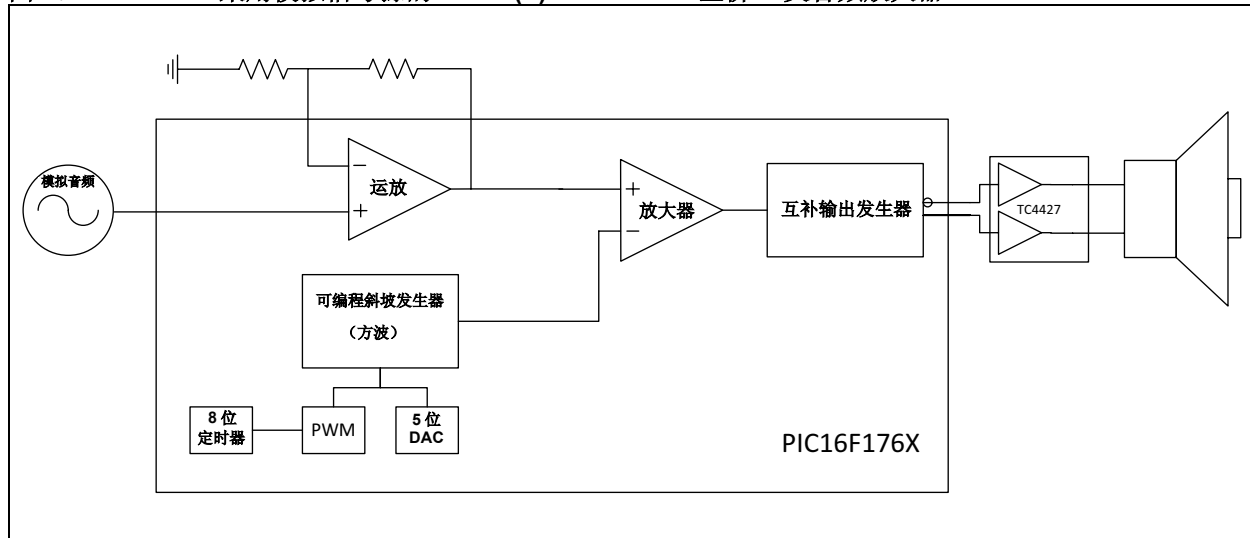
图 3：采用数字信号源的 PIC16(L)F1769 MCU 全桥 D 类音频放大器



AN2236

图 4 概述了模拟输入方法。另外，该示例演示了如何在具有低幅度输入信号的应用中使用内部运放来放大输入模拟信号。

图 4: 采用模拟信号源的 PIC16(L)F1769 MCU 全桥 D 类音频放大器



PRG 用于产生所需的三角波。为此，一个 PWM 用作 PRG 的上升沿和下降沿的时序源，频率为 128 kHz。单个 5 位 DAC 用作 PRG 的电压源。

将数据从 MSSP 传送到 DAC 之前，需要考虑时序因素。因为音频数据以数字形式存储，因此会有一定的采样速率与之关联。在该情况下，数据以 RAW（无头）、无符号 8 位形式存储，采样速率为 8000 Hz。要获得原始模拟信号的最佳表示并以正确的速度播放音频，需要每隔 125 μs （1/8000 Hz）从 EEPROM 读回一次数字音频数据。为了每隔 125 μs 可充分且轻松地从 EEPROM 读取数据，实现了 TMR 中断。TMR 中断溢出会触发 EEPROM 读操作，然后将检索到的数据传递到 DAC，将其转换为相应的模拟电平。然后，通过 CMP 将模拟电平与三角波作比较，使 PWM 占空比与模拟电平成比例。

鉴于该应用采用全桥放大器，因此需要互补的 PWM 信号来驱动放大器。为了产生这些信号，PWM 信号通过 COG，从而生成两个互补 PWM 信号。然后将互补的 PWM 信号传递到全桥放大器进行音频播放和放大。

结论

借助 PIC16(L)F176X 器件上的丰富模拟和数字外设，本应用提供了在 PIC16F 单片机上实现全桥 D 类音频放大器的完整解决方案。

该设计避免了使用昂贵的外部有源元件的需要。同时还进行优化以减少所需的外部无源元件的数量。这使用户可实现一个具有成本效益的小型紧凑外形全桥 D 类音频放大器。

参考文献

有关如何使用和配置本应用笔记中提及的模块的更多信息，请参见以下参考文档：

1. 《串行 EEPROM 与 8 位 PIC[®] 单片机的接口设计》(AN2045)
2. 《互补输出发生器技术简介》(TB3119)
3. “*Operational Amplifier Module of 8-Bit PIC[®] Microcontrollers*” (TB3132)
4. 《可编程斜坡发生器》(TB3140)
5. 《便携式 LED 照明的高效率解决方案》(DS01427A_CN)
6. 《PIC16(L)F1764/5/8/9 数据手册》(DS40001775A_CN)

附录 A: 原理图

图 A-1: 原理图 A

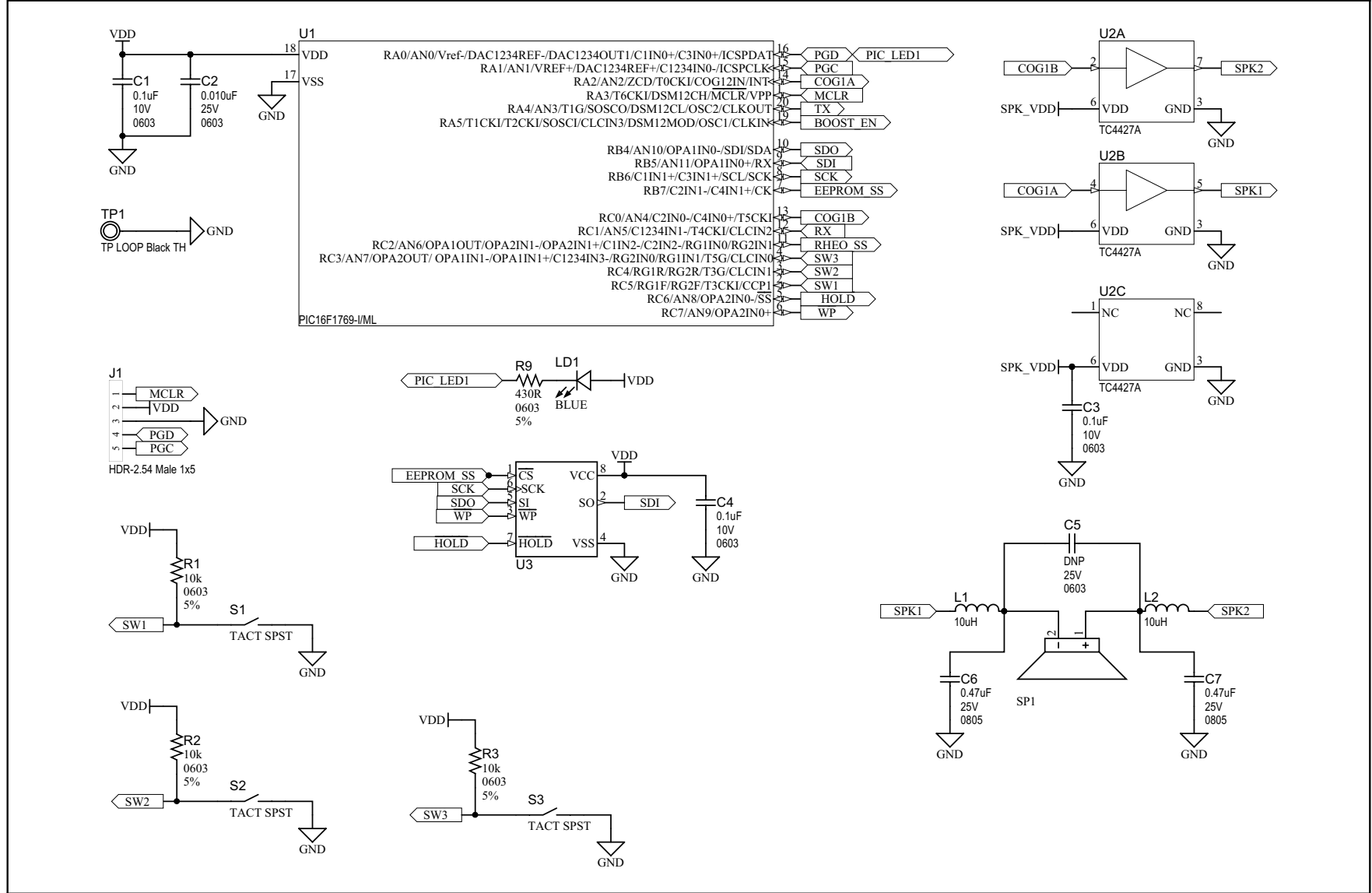
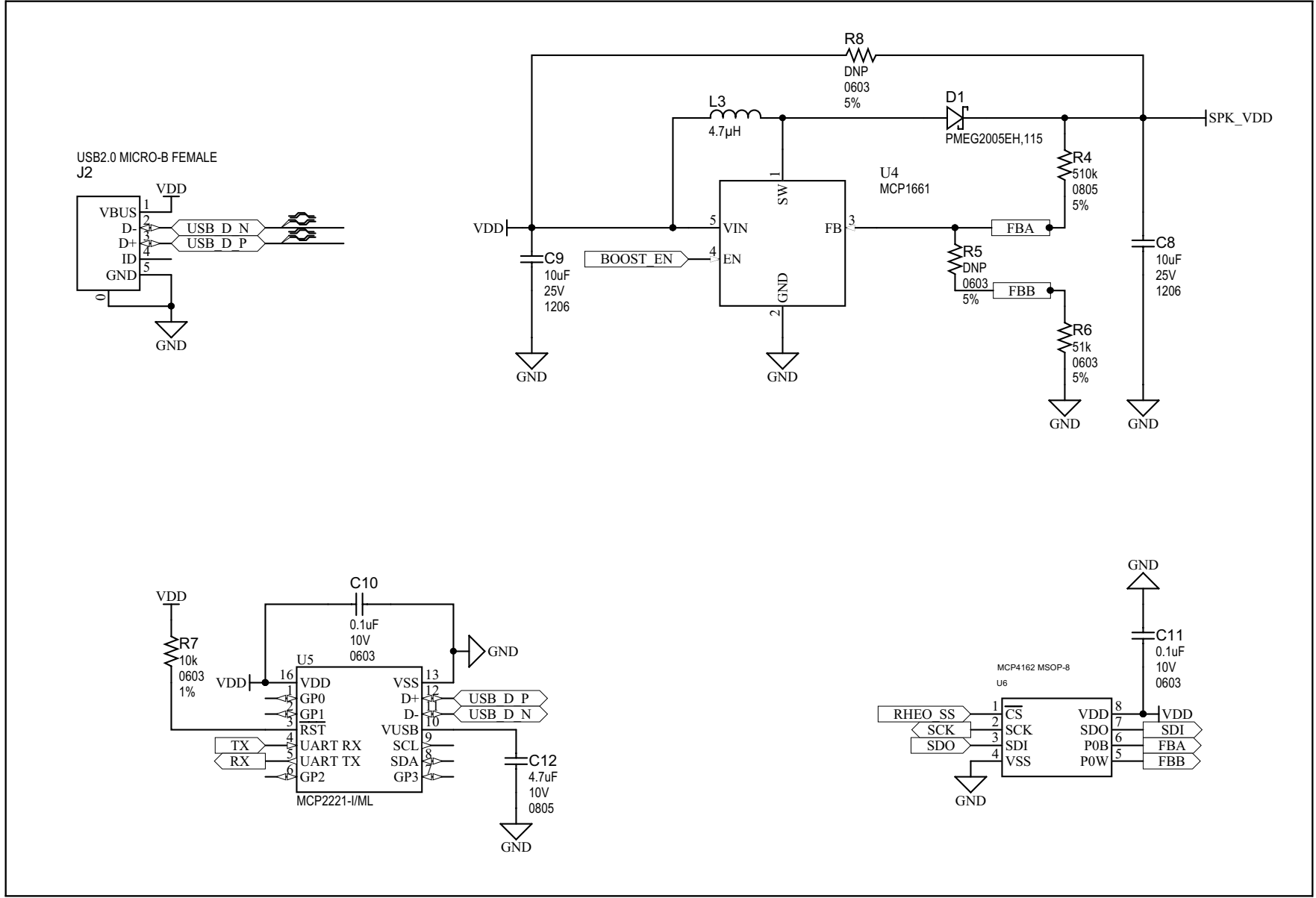


图 A-2: 原理图 B



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最安全的产品之一。
- 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。

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，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、适用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。除非另外声明，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。

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生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

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

商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、AnyRate、AVR 徽标、AVR Freaks、BeaconThings、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KEELOQ、KEELOQ 徽标、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、Prochip Designer、QTouch、RightTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge 和 Quiet-Wire 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BodyCom、chipKIT、chipKIT 徽标、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、Mindi、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PureSilicon、QMatrix、RightTouch 徽标、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

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

Silicon Storage Technology 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。

© 2017, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-2374-4

全球销售及及服务网点

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: 45-4450-2828
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: 49-7131-67-3636

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: 47-7289-7561

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