AN1525

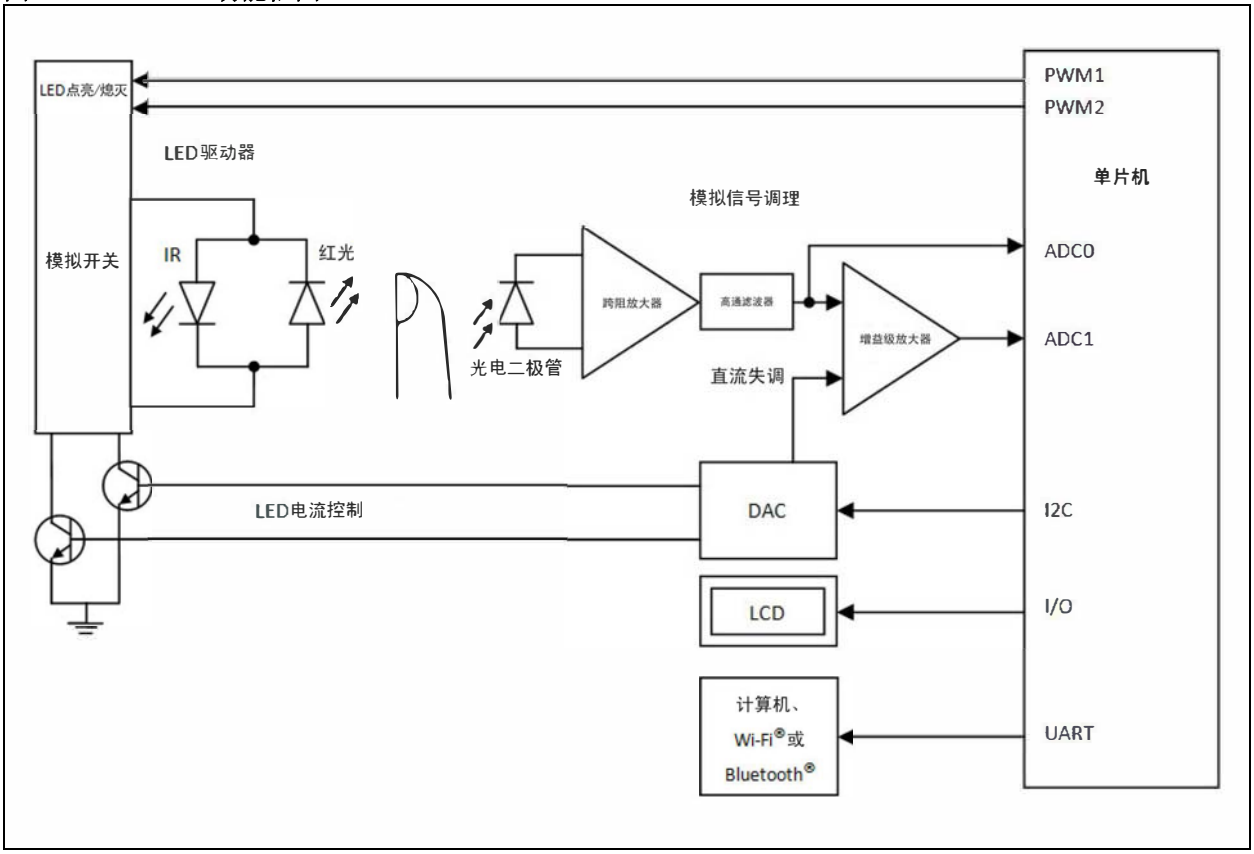
使用 Microchip 的模拟器件和 dsPIC® 数字信号控制器 （DSC）实现脉冲血氧仪设计

作者： *Zhang Feng*
Microchip Technology Inc.

简介

脉冲血氧仪是一种用于监测患者血氧饱和度和心率的非侵入式医疗设备。本应用笔记演示了如何使用 Microchip 的模拟器件和 dsPIC® 数字信号控制器 （Digital Signal Controller， DSC）实现高精度脉冲血氧仪。

图 1： 功能框图



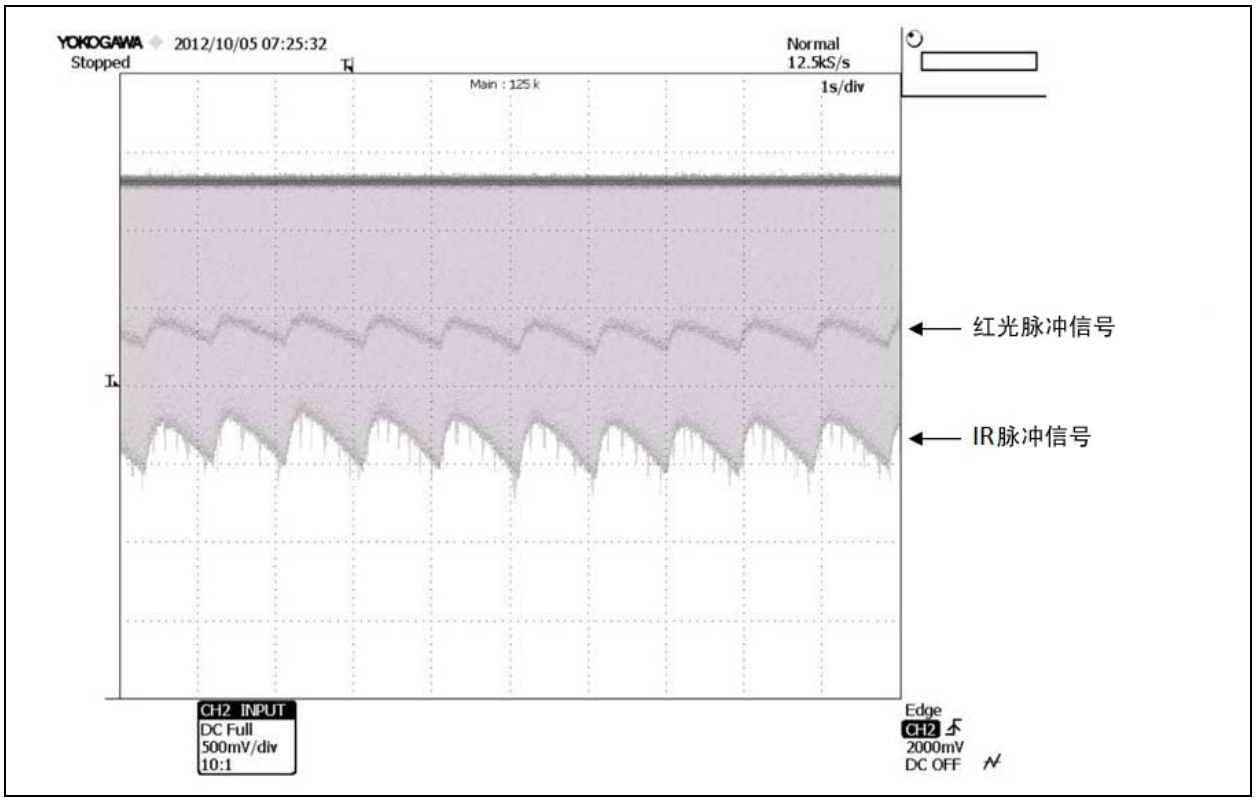
© 2014-2016 Microchip Technology Inc.

工作原理

脉冲血氧仪基于氧合血红蛋白（HbO_2）和脱氧血红蛋白（Hb）的红光（波长为 600-750 nm）和红外光（波长为850-1000 nm）吸收特性来监测人体血液的氧饱和度（SpO_2）。脉冲血氧仪会交替地闪烁红光和红外光，光线穿过手指到达光电二极管。 HbO_2 会吸收更多的红外光，允许更多的红光穿过。另一方面， Hb 会吸收更多的红光，允许更多的红外光穿过。

光电二极管接收来自每个 LED 的未吸收光。该信号通过使用反向运放进行反向，因此结果（如图 2 所示）代表已被手指吸收的光线。

图 2： 示波器捕捉的实时红光和红外光 （IR）脉冲信号



测量红光和红外光信号的脉冲幅值 （Vpp），然后将脉冲幅值转换为 Vrms，根据公式 1 得到比率值。使用该比率值和由经验公式组成的查找表，可以确定 SpO_2。脉率基于模数转换器 （Analog-to-Digital Converter， ADC）采样数和采样率进行计算。

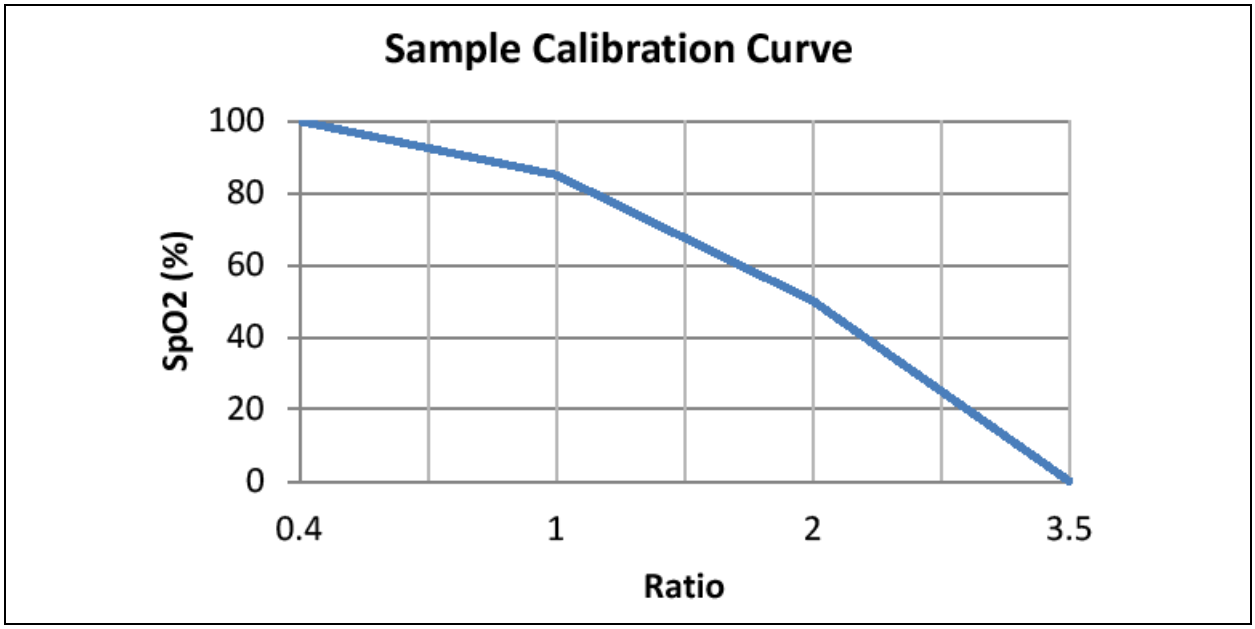
公式 1：

$$比率 = \frac{Red_AC_Vrms / Red_DC}{IR_AC_Vrms / IR_DC}$$

查找表是该系统的一个重要组成部分。查找表限定于特定的血氧仪设计，并且通常基于一些校准曲线，这些校准曲线是在各种 SpO_2 水平下多次测量健康受试者得到。图 3 给出了一个示例校准曲线。

© 2014-2016 Microchip Technology Inc.

图 3：　　示例校准曲线



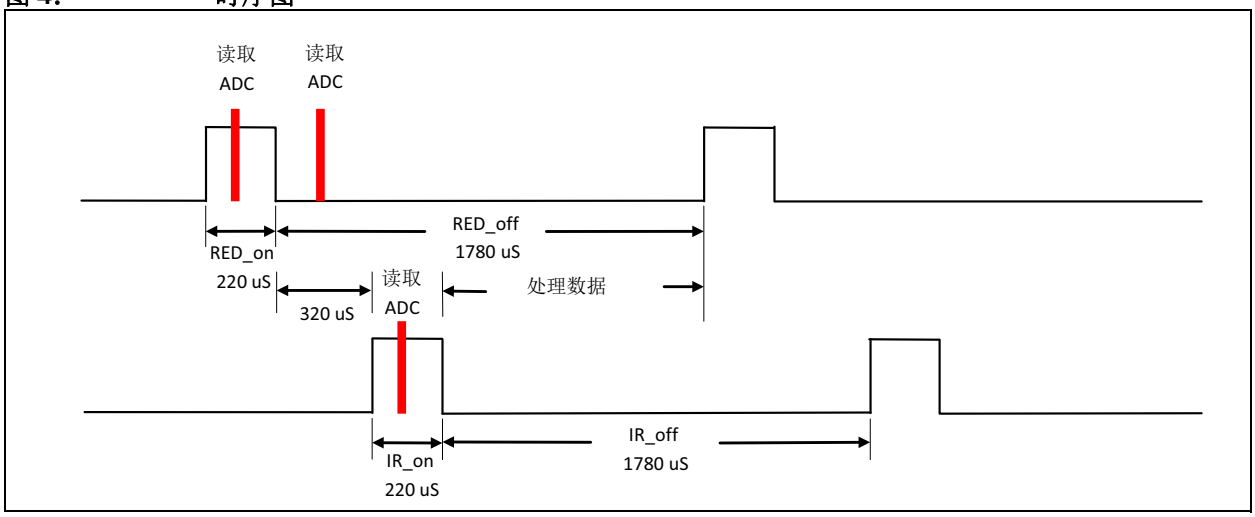
电路说明

该示例中使用的 SpO_2 探头是一个现成的 Nellcor® 兼容指夹式探头，该探头集成了一个红光 LED、一个 IR LED 和一个光电二极管。LED 通过 LED 驱动电路进行控制。信号调理电路会检测穿过手指的红光和 IR 光，然后馈送至单片机的 12 位 ADC 模块，单片机可以计算 SpO_2 的百分比。

LED 驱动电路

通过单片机的两个 PWM 信号驱动的双 SPDT 模拟开关会交替地点亮红光和红外光 LED。为了获得适当数量的 ADC 采样，并在 LED 下一次点亮之前有足够的时间来处理数据，将根据图 4 中的时序图来点亮 / 熄灭 LED：

图 4：　　时序图



LED 电流 / 强度通过由单片机驱动的 12 位数模转换器（Digital-to-Analog Converter， DAC）控制。

模拟信号调理电路

信号调理电路具有两个放大级。第一个放大级是跨阻放大器，第二个放大级是增益放大器。两个放大级之间放置一个高通滤波器。

跨阻放大器

跨阻放大器将光电二极管生成的电流（几微安）转换为电压 （几毫伏）。

高通滤波器

第一级放大器接收的信号通过高通滤波器传输，其旨在降低背景光干扰。

增益放大器

高通滤波器的输出传输到第二级放大器，其增益为 22，直流失调电压为 220 mV。放大器的增益和直流失调值设置为可使增益放大器的输出信号电平处于单片机的 ADC 范围。

数字滤波器设计

模拟信号调理电路的输出连接到 dsPIC DSC 的 ADC 模块。在每个 LED 的点亮周期内，获取一个 ADC 采样；在两个 LED 的熄灭周期内，获取一个 ADC 采样。

利用 dsPIC DSC 中集成的功能强大的数字信号处理（Digital Signal Processing， DSP）引擎，实现一个数字 FIR 带通滤波器对 ADC 数据进行滤波。滤波后的数据用于计算脉冲幅值。数字滤波器代码使用 Microchip 的数字滤波器设计工具生成。

FIR 带通滤波器规范

采样频率 （Hz）：500

通带频率 （Hz）：1 和 5

阻带频率 （Hz）：0.05 和 25

FIR 窗口：Kaiser

通带纹波 （-dB）：0.1

阻带纹波 （-dB）：50

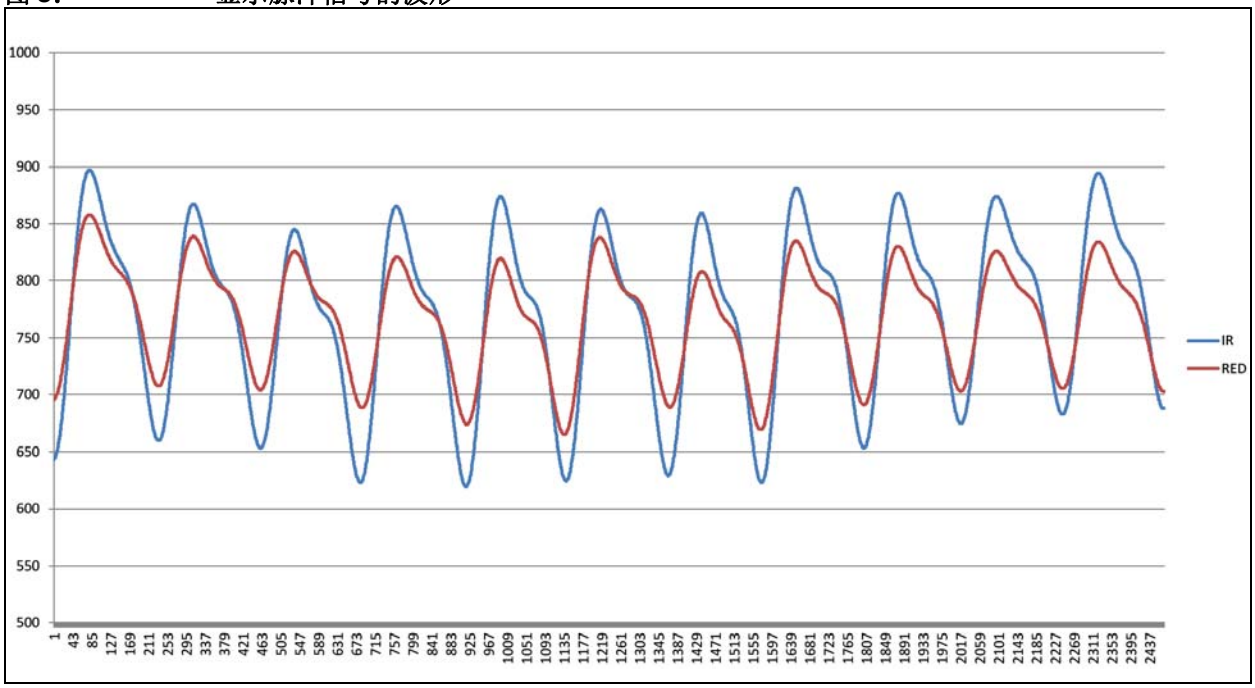
滤波器长度：513

连接

SpO_2和脉率数据可以使用PICkit™串行分析器通过UART端口发送到计算机。串行端口设置为115200-8-N-1-N。脉冲信号可以使用诸如 Microchip 的通用串行数据显示 GUI 之类的应用程序进行绘制，如图 5 所示。

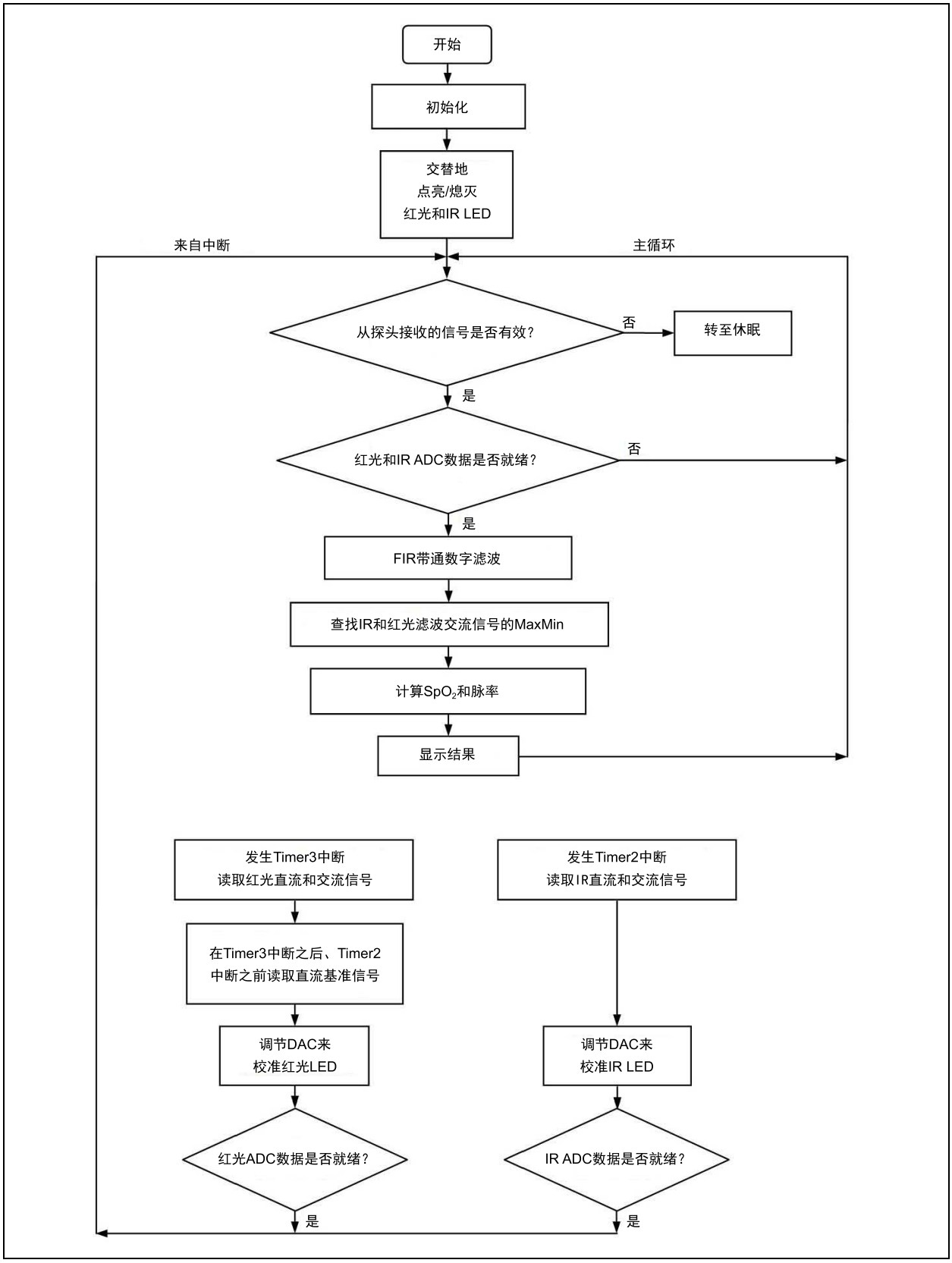
此外，还可以通过 UART 端口将数据发送到 Wi-Fi® 或 Bluetooth® 模块。

图 5： 显示脉冲信号的波形



© 2014-2016 Microchip Technology Inc.

图 6：　　程序流程图


开始
初始化
交替地
点亮/熄灭
红光和IR LED
来自中断
主循环
从探头接收的信号是否有效？
否
转至休眠
是
红光和IR ADC数据是否就绪？
否
是
FIR带通数字滤波
查找IR和红光滤波交流信号的MaxMin
计算SpO2和脉率
显示结果
发生Timer3中断
读取红光直流和交流信号
在Timer3中断之后、Timer2
中断之前读取直流基准信号
调节DAC来
校准红光LED
红光ADC数据是否就绪？
是
发生Timer2中断
读取IR直流和交流信号
调节DAC来
校准IR LED
IR ADC数据是否就绪？
是

注：

© 2014-2016 Microchip Technology Inc.

附录 A： 原理图

本附录给出了 Microchip 脉冲血氧仪的原理图。

图 A-1： MICROCHIP 脉冲血氧仪演示板原理图 1

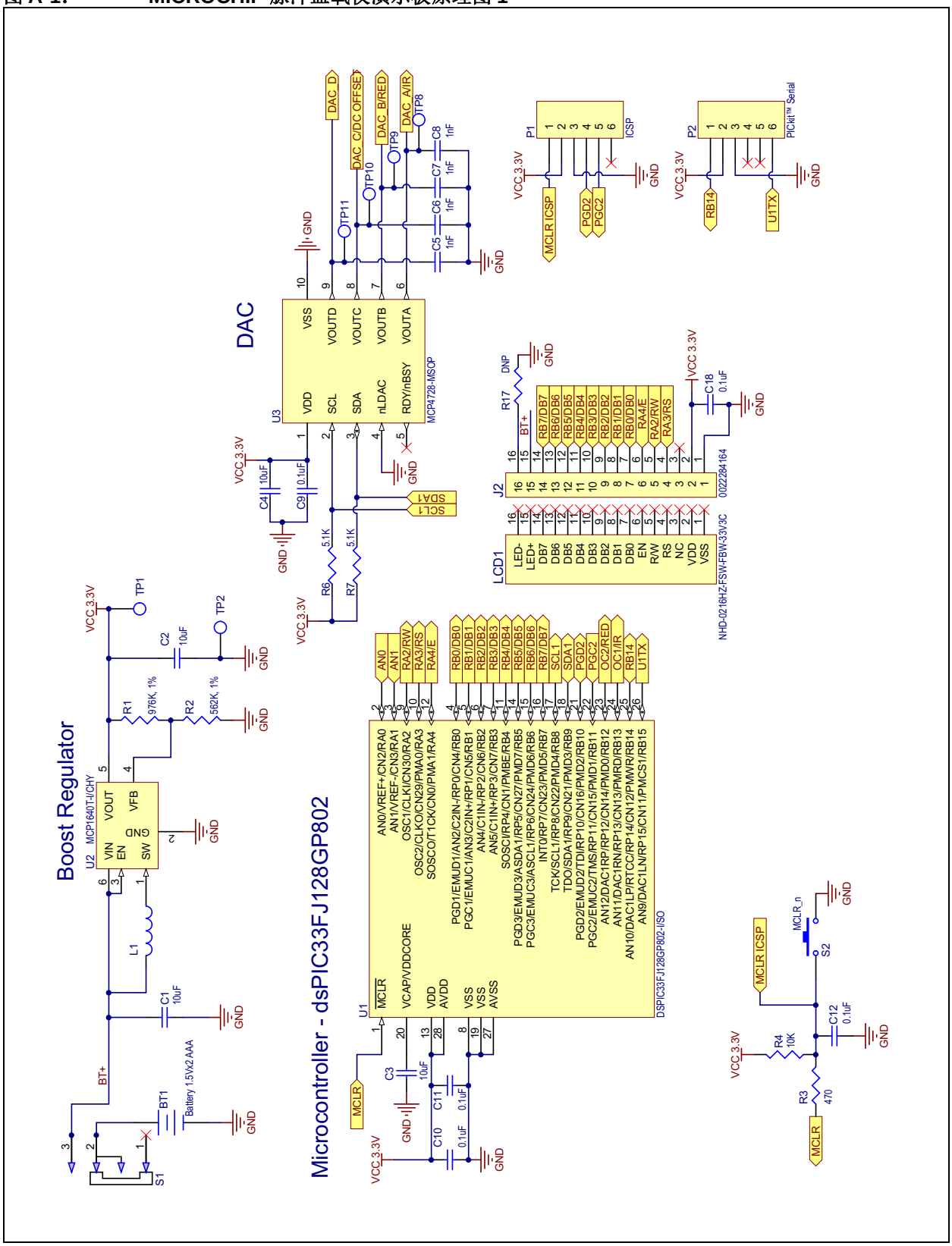
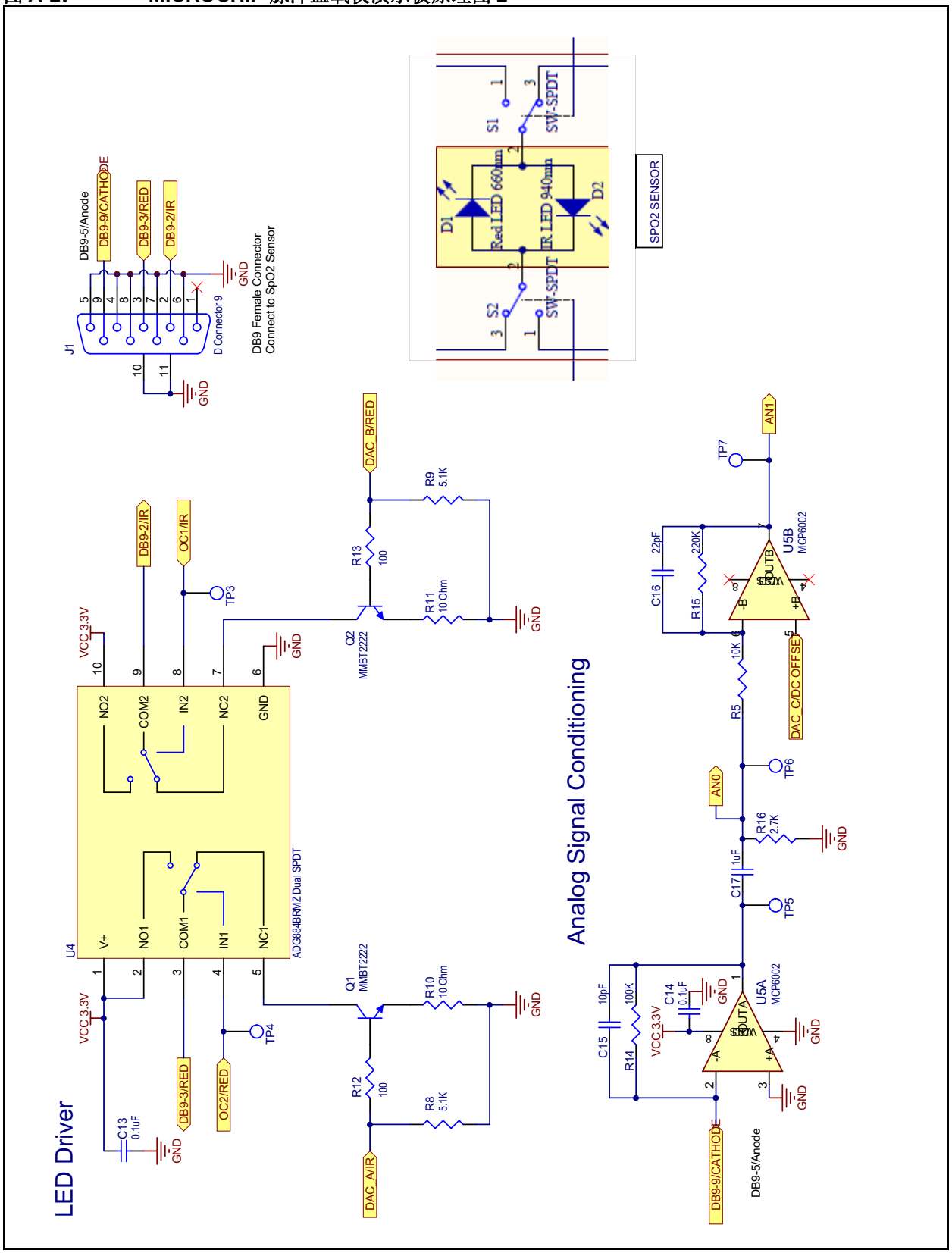


图 A-2：　　MICROCHIP 脉冲血氧仪演示板原理图 2



© 2014-2016 Microchip Technology Inc.

附录 B： 医疗演示警告、限制和免责声明

本演示仅用于评估和开发。不可用于医疗诊断。

附录 C： 参考资料

AN1494，《用于光探测应用的 MCP6491 运放》，Microchip Technology Inc.，DS01494A_CN，2013。

© 2014-2016 Microchip Technology Inc.

注：

© 2014-2016 Microchip Technology Inc.

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。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、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KeeLoq、KeeLoq 徽标、 Kleer、 LANCheck、 LINK MD、 MediaLB、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、PICSTART、PIC32 徽标、 RightTouch、 SpyNIC、 SST、 SST 徽标、SuperFlash 及 UNI/O 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。

Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BodyCom、chipKIT、chipKIT 徽标、CodeGuard、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、 In-Circuit Serial Programming、 ICSP、 Inter-Chip Connectivity、 JitterBlocker、 KleerNet、 KleerNet 徽标、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、 PICDEM、 PICDEM.net、 PICkit、 PICtail、PureSilicon、 RightTouch 徽标、 REAL ICE、 Ripple Blocker、Serial Quad I/O、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。

© 2014-2016, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN：978-1-5224-0794-2

全球销售及服务网点

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

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
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

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

纽约 New York, NY
Tel: 1-631-435-6000

圣何塞 San Jose, CA
Tel: 1-408-735-9110

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

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: 852-2943-5100
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 - 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
Fax: 86-571-8792-8116

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: 86-755-8864-2200
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 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100
Fax: 852-2401-3431

亚太地区

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

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7828

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600
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: 91-20-3019-1500

日本 Japan - Osaka
Tel: 81-6-6152-7160
Fax: 81-6-6152-9310

日本 Japan - Tokyo
Tel: 81-3-6880-3770
Fax: 81-3-6880-3771

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 - Dusseldorf
Tel: 49-2129-3766400

德国 Germany - Karlsruhe
Tel: 49-721-625370

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

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

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

波兰 Poland - Warsaw
Tel: 48-22-3325737

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

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

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

06/23/16

© 2014-2016 Microchip Technology Inc.