AN2059

LIN 基础知识和 8 位 PIC® 单片机上实现的 MCC LIN 协议栈库

作者： *Mary Tamar Tan*、
Brian Bailey、
Han Lin
Microchip Technology Inc.

简介

LIN （局域互联网）是一种低成本串行通信协议，常见于汽车网络中。它通常用于汽车的机电节点，但也非常适合工业应用。对 LIN 通信不熟悉的用户经常受 LIN 协议复杂晦涩的高层开销所困扰（如LDF、NCF文件等）。而事实上，它的目标却是通过极为基本的 LIN 消息传输来简单而快速地评估 LIN MCU 和 LIN PHY 硬件。为了协助进行快速原型开发，建立了配套的 MCC LIN 代码发生器。当您的 LIN 应用准备投入生产的时候，我们的 LIN 设计和第三方合作伙伴提供可定制且经过生产验证的 LIN 协议栈和支持。

本应用笔记的第一部分包含 LIN 基础知识，解释其工作原理。强烈建议读者熟悉 LIN 规范 v2.2A（本文发布时的最新版本规范）。

第二部分介绍一个LIN协议示例，使用Microchip MPLAB® 代码配置器（MPLAB Code Configurator， MCC）LIN 协议栈库。本文提供有关如何在数分钟内生成 LIN 主机和从机驱动程序的操作步骤。

MCC LIN 协议栈特性

MCC 可为下列基本 LIN 功能生成代码：

- 通过组合 EUART 字节构建 LIN 消息帧
- 自动生成带有用户定义帧名称的 LIN PID
- 根据 LIN 消息帧配置生成 LIN 经典校验和值
- 生成显示如何使用 LIN API 的调度程序示例代码
- 仅支持无条件类型帧
- 允许用户定义帧名称
- 允许用户定义数据长度 （1 至 8 个字节）
- 可配置低至 1 毫秒的超时和周期
- 支持硬件中断

注： MCC LIN 协议栈仅用于介绍 LIN 基础知识和原型开发。它只有较低的 LIN 层级，以便支持大部分基本的 LIN 消息传输。参考 “LIN 协议栈”部分，了解更多限制的详细信息。

LIN 基础知识

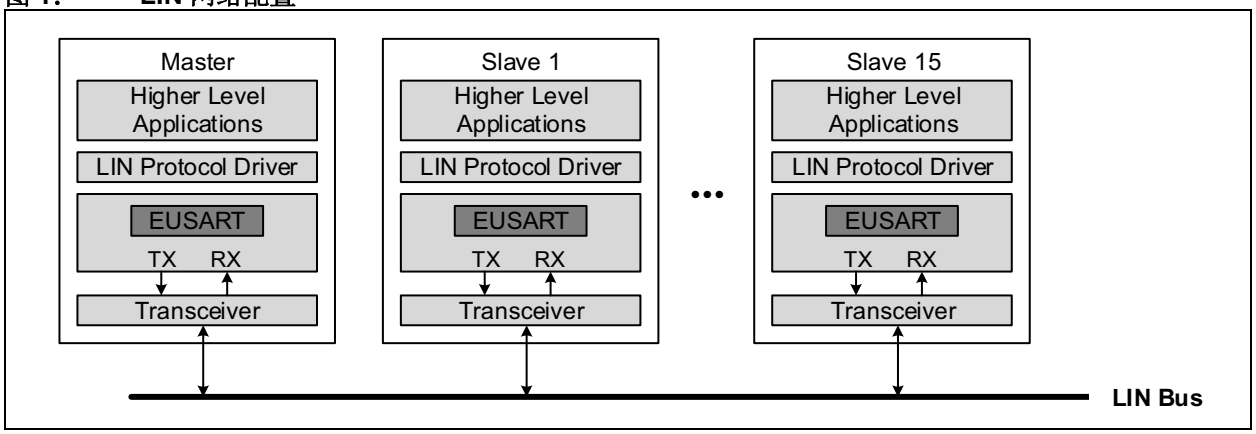
以下章节概述 LIN 基础知识，有助于读者更好地理解 MCC LIN 协议栈的实现。

LIN 网络配置

LIN 集群由单线式总线、一个主机节点和最多 15 个从机节点组成。典型网络连接如图 1 所示。主机控制总线活动，从机根据安排的任务发送或接收信息。

© 2016 Microchip Technology Inc.

图 1： LIN 网络配置



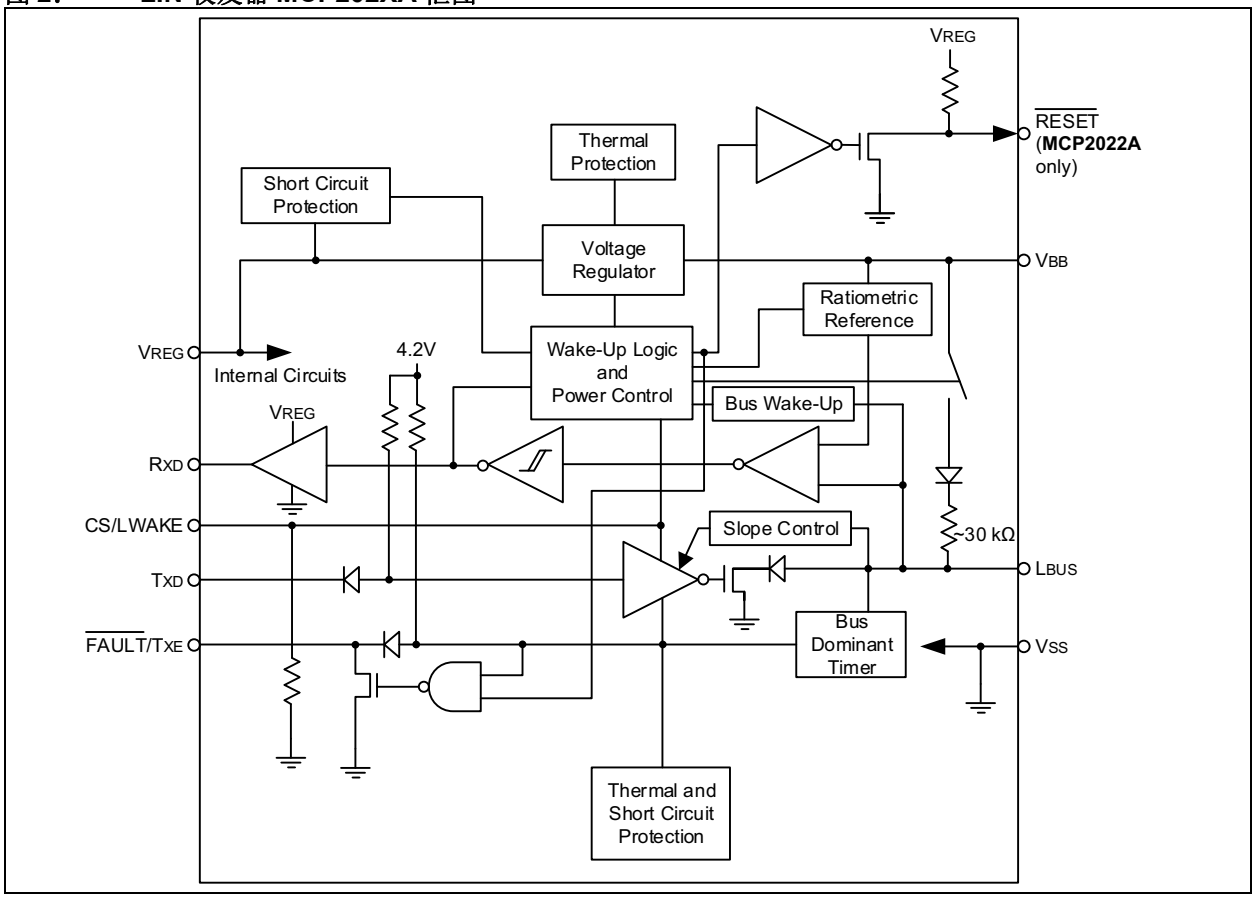
MCC LIN 协议栈是本应用笔记关注的核心内容，它能提供物理接口与高级应用固件之间的接口。EUSART 模块是 LIN 通信中的关键要素。它用作 LIN 的串行引擎，使硬件（而非软件）拥有串行控制。通过这种方式可以在数据发送或接收期间进行杂项处理。收发器用作 EUSART 模块和总线之间的双向半双工通信物理接口。有关 LIN 物理层的更多信息，请参见 **“电气连接”**。

电气连接

LIN 总线工作电压范围为 9V 至 18V。一般而言，单片机的 LIN I/O 引脚电压电平通过一个收发器调节至 LIN 总线电平。这样可以让单片机在 5V 电平下工作，同时总线的工作电平更高。 Microchip 提供各种 LIN 收发器产品组合，某些产品内置了额外的特性，比如内部稳压器（VREG）和窗口看门狗定时器（WWDT）。MCP202XA LIN 收发器的示例框图如图 2 所示。

© 2016 Microchip Technology Inc.

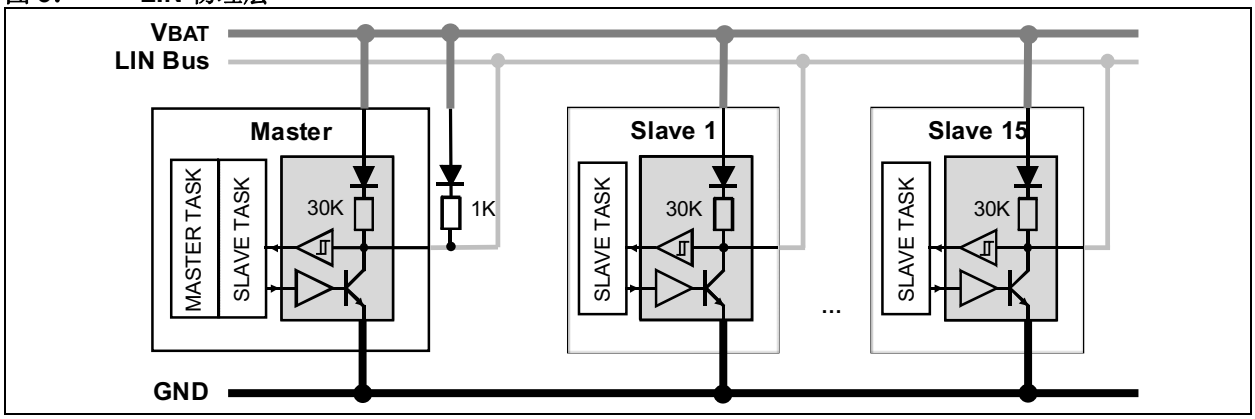
图 2：　LIN 收发器 MCP202XA 框图



有关 Microchip 提供的 LIN 收发器完整列表，请参见：www.microchip.com/lin。

总线的每个节点都端接至 VBAT。主机应当通过 1 kΩ 电阻端接，而从机应当通过 30 kΩ 电阻端接。如图 2 所示，MCP202XA LIN 收发器已经集成了一个内部 30 kΩ 端接电阻，因此从机无需外部端接。最大总线长度设计为 40 米。图 3 显示了一个 LIN 物理连接示例。参见《MCP202XA 数据手册》（DS22298A_CN）中的“典型应用电路”，网址：www.microchip.com/MCP2021A。

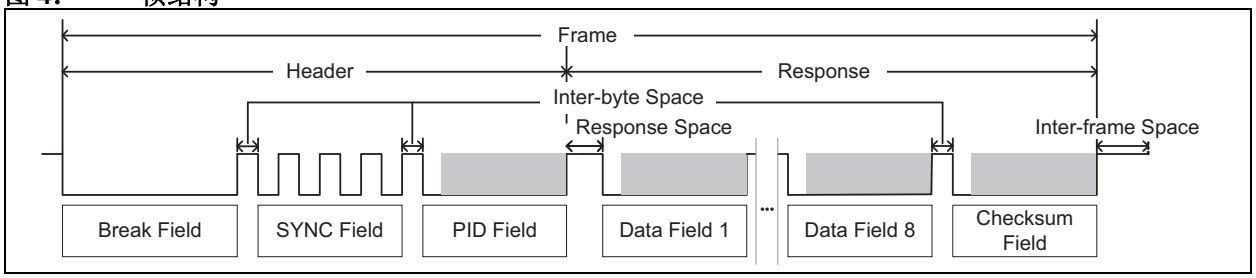
图 3：　LIN 物理层



帧和信号

帧定义为 LIN 总线上传输的实体。一帧可以分为两部分：帧头和帧响应。每一个串行数据字节都始于开始（Start）位 （显性信号），止于停止 （Stop）位 （隐性信号）。当信号逻辑为 0 时，称为显性信号。当信号逻辑为 1 时，称为隐性信号。

图 4： 帧结构



帧头始终由主机发送，包括间隔字段 （Break Field）、同步字段 （Sync Field）和保护标识符 （Protected Identifier， PID）字段。

间隔字段由至少 13 位时间长度的显性信号后接间隔定界符组成。间隔定界符至少是 1 位时间长度的隐性信号。随后是一个同步字段，数据值为 0x55。间隔字段时序可让从机识别新帧的开始。同步字段允许从机与主机时钟同步。

PID 字段由 6 个帧标识符位和 2 个奇偶校验位组成。帧 ID 表示唯一的消息地址，但不一定决定消息的特定目的地。MCC LIN 协议栈包含自动计算帧 ID 奇偶校验的算法。

帧响应可以来自主机本身，也可以来自任意从机。仅具有相匹配 ID 的节点才会发送响应。响应包括数据字段（Data Field）和校验和字段 （Checksum Field）。

数据字段由信号组成。信号可以是标量值，也可以是字节数组。标量信号搭载 1 位至 16 位数值。字节数组信号搭载 1 字节至 8 字节数值。帧标识符相同的所有帧中，信号始终出现在数据字段的相同位置。虽然订阅者数量没有限制，但也应当由单个发布者发送。这些信号用于较高级的应用中。帧始终由校验和字段结尾。MCC LIN 协议栈采用仅对数据字节执行的经典校验和计算。

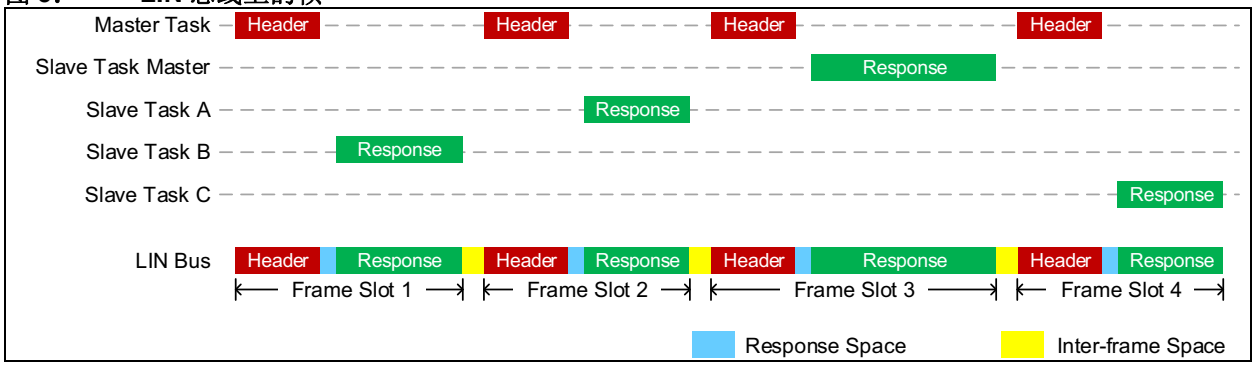
字节间距离等于从上一个字段停止位结束，到下一个字节开始位之间的时间。响应距离等于头与响应字段之间的时间。最后，帧间距离等于帧结束与下一帧开始之间的时间。

LIN 总线时序

LIN 总线上的发送和接收都是确定性和周期性的。能达到这个要求是因为使用了调度表。调度表列出了需要以预定义时间间隔出现在总线上的所有帧。这可以防止总线过载，同时还能确保每一帧都正确发送和接收。图 5 显示了一个帧传输示例，具有不同的响应发布者。这些打包在帧内的信号的订阅者可以是连接总线的任意节点。

© 2016 Microchip Technology Inc.

图 5：　　LIN 总线上的帧



LIN 中使用的最小时间单位称为时基。它控制调度表中的帧时序。单帧的时隙周期为时基的整数倍。任何时序源都能生成时基，比如 PIC® 单片机的 Timer0、Timer1/3/5 或 Timer2/4/6 外设。目前，MCC LIN 协议栈的时基设定为 1 ms。

至此，本文讨论了 LIN 协议的基础知识，在后续章节中本文将指导用户使用 MCC LIN 工具完成配置，并生成主机和从机 LIN 演示应用程序。

MCC LIN 协议栈库

MPLAB 代码配置器 （MCC）是 MPLAB X 集成开发环境下的软件插件。它采用图形用户界面（Graphical User Interface，GUI），是生成各种 PIC® MCU 外设驱动程序的便捷工具。除了外设模块，它还提供不同协议栈和接口的库。这些库中有用于主机和从机节点的LIN协议栈。

MCC LIN 协议栈系统要求

- MPLAB X IDE V3.10 或更高版本
- MPLAB 代码配置器 （MCC） v3 或更高版本
- Java JRE v1.8 或更高版本（参考 MCC 版本说明，针对最新版本的 Java 设置 MPLAB X）

优势和局限

MCC LIN 协议栈的优势和局限如下所示。

优势：

- 实现了片内 EUSART 和定时器模块，可让程序在后台运行。这同样也减少了固件。可选 EUSART 模块（针对具有多个 EUSART 的器件）和时序源（比如 Timer1 和 Timer2/4/6）。
- 可方便地创建调度表。
- 自动处理发送或接收帧，可方便地供应用程序使用。

局限：

- 不在数据字段中定义信号名称。例如，一个帧也许有两个数据字节，包含两位窗口状态信号、六位门状态信号和八位温度状态信号。用户必须进一步在代码中定义这些信号名称，以便解析这两个字节的数据。但 MCC LIN 发生器确实定义了帧 PID 的名称。因此，出于原型开发的考虑，用户可能会使用帧名称来协助识别每帧搭载的内容。
- 不支持完整 LIN 协议。仅实现了基本的低层级 LIN 帧传输。

MCC LIN 协议栈 PID 分配

列于主机和从机表中每一帧的名称都分配了唯一的 PID。 PID 由六个帧标识符位 （LSB）和两个奇偶校验位 （MSB）组成。 MCC LIN 协议栈自动将帧标识符数值分配给 LIN 表中列出的帧。帧标识符分配首先将“0”分配至表中最上面的帧，之后每一行的帧都递增 1，以此类推。

> **注：** 应当仅列出 60 帧（0 至 59）以便符合 LIN 规范中对于搭载信号 （数据）帧的规定。保留帧标识符 60 至 63，用于其它特殊功能。

奇偶校验位 P0 和 P1 由协议栈自动计算。另外，**附录 A：“帧 PID 查找表”** 中还提供了 ID 至 PID 查找表。当用户使用 Microchip 的测试工具（比如 LIN 串行分析仪）时，此表很有用。用户可以根据帧 ID 找到对应的 PID 值，以便发送帧。

相关外设

除 LIN 协议栈库外，还需配置两个外设模块。它们是 EUSART 模块（用于帧的发送与接收）和定时器模块（用于 LIN 总线时基）。

EUSART 模块

8 位 PIC 单片机的增强型通用同步 / 异步接收器 / 发送器（EUSART）模块是一个串行通信外设，包含独立于器件程序执行、进行输入或输出串行数据传输时所需的全部时钟发生器、移位寄存器和数据缓冲器。除了基本 USART 特性外，此模块还具有某些使其成为 LIN 总线系统理想之选的能力：

- 自动检测并校准波特率
- 收到间隔 （Break）时唤醒
- 可发送 13 位间隔字符

为了符合 LIN 标准，应当配置每一个字符传输，以使一个开始位之后有一个或最多八个数据字节，并始终以停止位终止。开始位始终为“0”，而停止位始终为“1”。各位保持不变的时间为 1/（波特率）。EUSART 模块的波特率发生器可以根据系统振荡器频率自动推导出波特率。 EUSART 首先发送和接收 LSB。

此外，使能 EUSART 中断还可让 LIN 应用程序在后台运行，同时单片机执行其它重要任务。这样 MCU 可以执行其它应用程序，改善时间和功耗性能。

TIMER2 模块

从可用的定时器模块中选择时序源。例如，Timer1 是一个 16 位定时器，当没有预分频器且生成溢出中断时，它可在每一个指令周期中递增。而 Timer2 是一个 8 位定时器，它在定时器与周期寄存器匹配时生成中断。时序源的选择取决于可用的模块和特定应用程序要求。所选定时器周期应当始终设为 1 ms。该 1 ms 时基用来控制调度表中每一个消息帧的时序。

有关如何配置 LIN 库的操作步骤说明以及相关外设请阅读后续章节。

MCC LIN 协议栈演示

本应用笔记内的演示程序使用 MCC 3.0。有关如何下载并安装最新版本 MCC 的详细信息，请参见 www.microchip.com/mcc。

LIN 主机和 LIN 从机协议栈的演示硬件采用 PICkit™ 28 引脚 LIN 演示板 （部件编号：DM164130-3）和 LIN 串行分析仪 （部件编号：APGDT001）。图 6 显示了一个简化设置。

图 6： LIN 演示设置

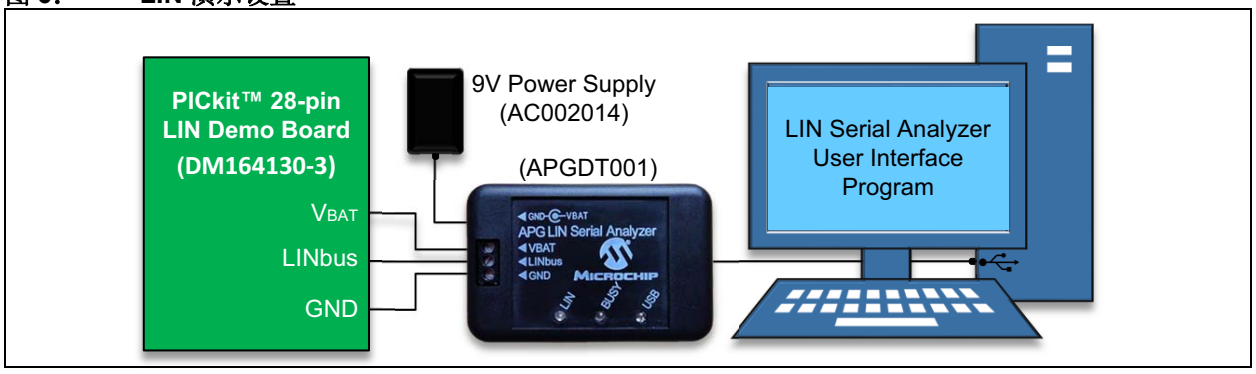
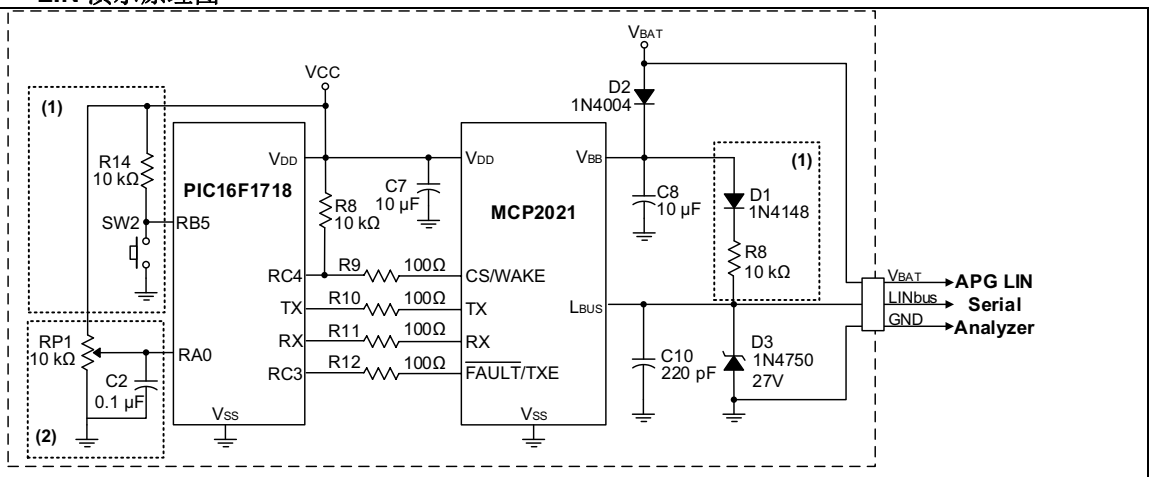


图 7 显示了演示应用程序中 PICkit™ 28 引脚 LIN 演示板的一部分。

© 2016 Microchip Technology Inc.

图 7：　LIN 演示原理图



注 1： 仅在 LIN 主机演示中实现。
2： 仅在 LIN 从机演示中实现。

LIN 主机协议栈

图 8 显示了主机节点配置表。每一行代表一个单独的帧。每一行显示的内容都是默认值。用户可以手动编辑内容，并可通过增加行的方式来增加更多帧。代码中的调度表将根据输入该表中的参数生成。表中的列定义如下：

图 8：　默认 LIN 主机表

信号	类型	长度	超时	周期
UNLOCK	发送	1	0	100
RSSI	发送	1	0	20
LFRX	接收	8	100	0

信号

本列中，用户提供帧 ID 的描述性名称。最上面的名称（帧）将自动分配 ID 0。 MCC LIN 协议栈可自动将 ID 转换为 PID。例如，它将 ID 0 转换为 PID 0x80。随着添加更多的帧，会分配递增 ID。调度器代码会从顶部第一行开始发送帧，直到底部最后一行。

注： 该表中的信号以和 PID 相关的帧名称来指代。这与 LIN 规范中定义的“信号”有所不同。在 LIN 规范中，信号以数据字段中的位和字节的名称来指代，而非 PID。

类型

帧可以是发送类型的，也可以是接收类型的。将帧配置为发送类型表示该帧的数据来自主机。换言之，头之后将发送主机自身的响应。将帧配置为接收类型表示该帧的数据来自从机。换言之，主机送出头后，该主机便预期收到来自从机节点的响应。

长度

长度等于数据字段的字节数，数值范围为 1 至 8。

超时

超时是从帧头结束到节点应当完成发送响应的预期时间之间的间隔，单位为毫秒（ms）。如果某个节点完成响应所花的时间比预期的超时时间更长，则主机停止发送当前帧，转而发送下一帧。确保超时时间至少大于响应距离加上帧的响应。否则会不断跳过当前帧，就好像该帧不起作用一样。

周期

周期是当前帧开始到下一帧开始之间的时间间隔，单位为毫秒（ms）。周期应当大于其发送当前帧所需的时间。这样可以有更多的帧间时间，以便让节点在准备接收下一帧之前处理上一帧。

LIN 主机协议栈的实现

本节描述了 LIN 主机库的简单应用程序。在 PICkit™ 28 引脚 LIN 演示板上安装 PIC16F1718 单片机并配置为主机，与配置为从机的 LIN 串行分析仪通信。正确的硬件设置请参见 **“MCC LIN 协议栈演示”**。

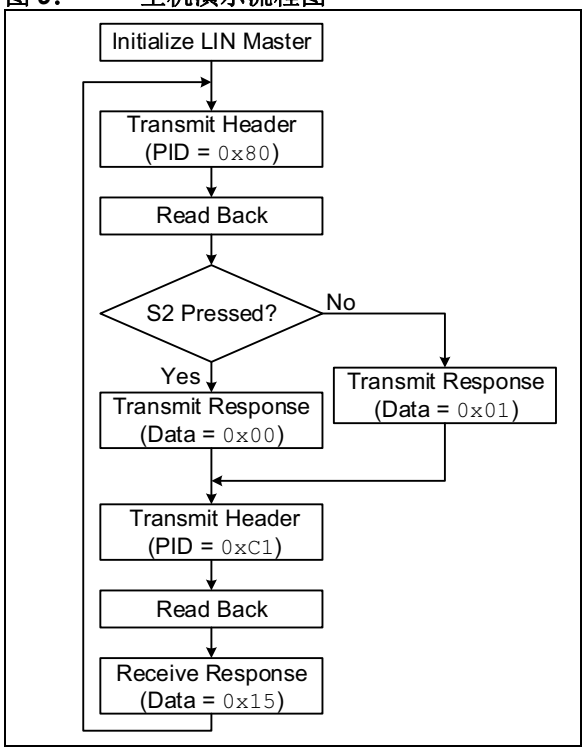
在下列演示示例中，仅在调度表 GUI 上输入两个无条件帧。

第一个帧是发送类型的，包含 1 字节数据。主机将发送 PID 值等于 0x80（ID = 0）的帧。数据从主机节点自身出发，向 LIN 集群上的订阅者发送关于主机节点板载开关 S2 的状态。当数据等于 0x00 时，按下 S2。当数据等于 0x01 时，未按下 S2。

第二个帧是接收类型的，包含 1 字节数据。主机将发送 PID 值等于 0xC1（ID = 0x01）的帧。 PID 匹配的节点将只发送固定数据值为 0x15 的响应。

图 9 显示了一个简化的演示流程图。

图 9： 主机演示流程图



MCC 配置

下列内容将指导用户设置 LIN 帧、所需的外设（系统、定时器和 EUSART）以及使能 LIN 收发器所需的 I/O。另请参考 **“主机演示的 MCC GUI 设置”** 中的屏幕截图。

1. 如需启动 MCC v3，请前往 *Tools > Embedded > MPLAB Code Configurator v3（工具 > 已安装工具 > MPLAB 代码配置器 V3）*。
2. 在 Project Resources（项目资源）下，单击 **System（系统）**，然后选择 **System Module（系统模块）**。
3. 选择所需的系统时钟设置。对于示例应用程序，选择 Internal Oscillator (INTOSC) mode: I/O function on the CLK pin（内部振荡器（INTOSC）模式：CLK 引脚充当 I/O 功能），该选项在 **Oscillator Select（振荡器选择）**菜单中。“System Clock（系统时钟）”选择 FOSC，“Internal Clock（内部时钟）”选择 16 MHz_HF。取消勾选 **PLL Enabled（使能 PLL）**。参见图 10。
4. 禁用看门狗定时器。
5. 在 Device Resources（器件资源）下，选择 *Libraries > LIN > LIN Master（库 > LIN > LIN 主机）*。
6. 将出现图 8 中所示的 LIN 主机表 GUI。
7. 如需增加一帧，可点击 **Add（添加）**。“Signal-Type-Length-Timeout-Period”（信号 - 类型 - 长度 - 超时 - 周期）栏以下将另外出现一行。
8. 编辑字段，如图 11 所示。各列的定义参见 **“LIN 主机协议栈”**。
9. 选择 Timer2 作为定时器。由于 PIC16F1718 仅有一个 EUSART，因此 EUSART 选项卡上将只有一个选项。
10. 单击 **Notifications（通知）**选项卡。该选项卡列出了使 LIN 协议栈具有全部功能所需的所有额外配置。记录“HINT”类通知，因为生成 MCC 设置后将会用到该通知。
11. 其中一个通知描述了 LIN 模块使用 Timer2。因此，应当配置 Timer2。如需配置，请前往 *Device Resources > Peripherals > Timer > TMR2（器件资源 > 外设 > 定时器 > TMR2）*。
12. 勾选 **Enable Timer（使能定时器）**和 **Enable Timer Interrupt（允许定时器中断）**。
13. Timer Period（定时器周期）设为 1 ms。使用高频系统时钟时，预分频器和后分频器之比可能需要进行调节。
14. 另一条消息说明 LIN 模块使用 EUSART。因此，EUSART 模块需要进行配置。如需配置，请前往 *Device Resources > Peripherals > EUSART > EUSART*。
15. 在 MCC EUSART GUI 中，将模式设置为“异步”。勾选 **Enable EUSART（使能 EUSART）**、**Enable Transmit（使能发送）**和 **Enable EUSART Interrupts（允许 EUSART 中断）**。将 Transmission（发送）位和 Reception（接收）位设为 8 位，将 Clock Polarity（时钟极性）设为 Non-Inverted（非反相）。

© 2016 Microchip Technology Inc.

16. 设置波特率。波特率的数值范围为 1 至 20000。对于示例应用程序，使用 9600 波特率。
17. 在 MCC 窗口右下角的 “Table View” 中设置相应的 EUSART TX 和 RX 引脚。本例中，RC6 和 RC7 分别分配至 TX 和 RX 引脚。
18. 完成 Timer2 和 EUSART 模块设置后，配置 I/O 端口，使能已连接的 LIN 收发器（MCP2021）。注意，不同的收发器可能需要进行不同设置。请参考具体收发器数据手册。对于 28 引脚 LIN 演示板而言，收发器的 CS/WAKE 和 FAULT/TXE 引脚分别连接 RC4 和 RC3 引脚。 CS/WAKE 应当配置为输出并设为高电平，而 FAULT/TXE 应当设为输入且弱上拉使能。
19. 其它外设现可根据特定应用程序进行配置。对于示例应用程序而言，仅使用连接至 RB5 的外部开关。它配置为数字输入引脚。引脚模块 GUI 如图 15 所示。
20. 单击 **Generate（生成）**。首次生成 MCC 代码时，会弹出一个窗口，要求将配置设置保存为 .mc3 文件格式。输入所需文件名，单击 **Save**。配置设置总结请参见 **“主机演示的 MCC GUI 设置”**。
21. 配置设置已生成。但配置过程尚未完成。“HINT” 类通知 “Add `LIN_handler()` in the `main.c` while loop” 应在生成的代码中实现。
22. 取消 `INTERRUPT_GlobalInterruptEnable()` 和 `INTERRUPT_PeripheralInterruptEnable()` 的注释（`main.c` 中）。
23. LIN 主机驱动程序至此完成设置。对于示例应用程序，`main.c` 的 `while (1)` 循环如例 1 所示。

例 1： 主机演示代码片段

```
while (1)
        {
            // 加入您的应用程序代码
            LIN_handler();

            if (PORTBbits.RB5 == HIGH){
                Master_Switch_Data[0] = 0x01;
            }
            else{
                Master_Switch_Data[0] = 0x00;
            }
        }
```

主机演示的 MCC GUI 设置

下图显示了 MCC LIN 协议栈主机演示中实现的不同外设模块设置，采用 MCC Composer Area 视图。

图 10： 系统模块设置

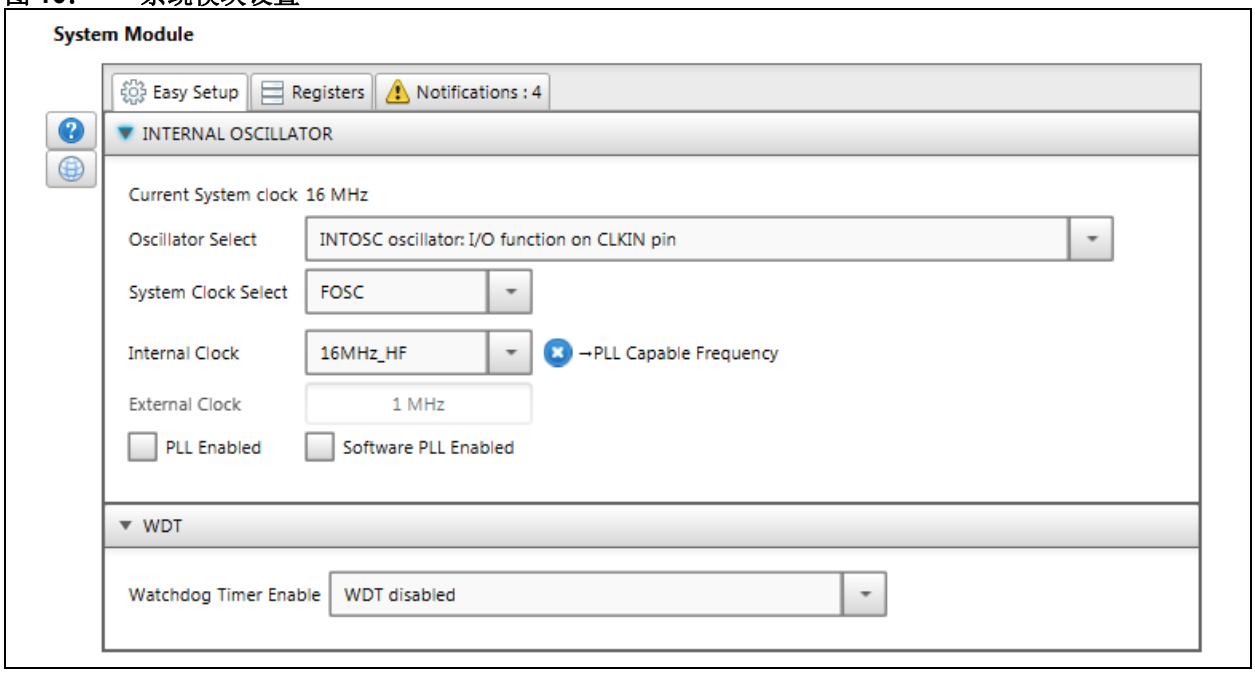


图 11： LIN 主机设置

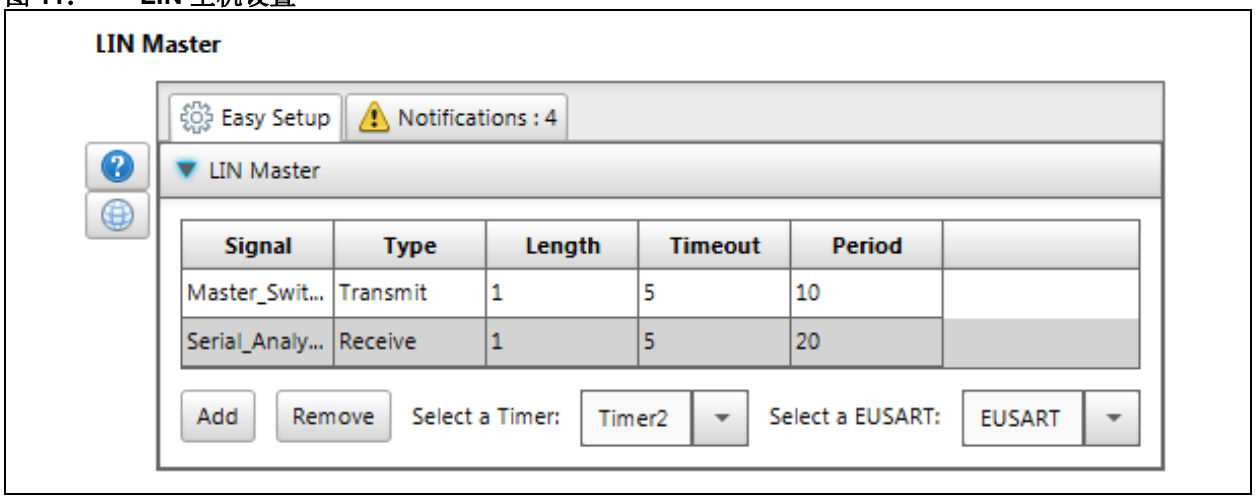
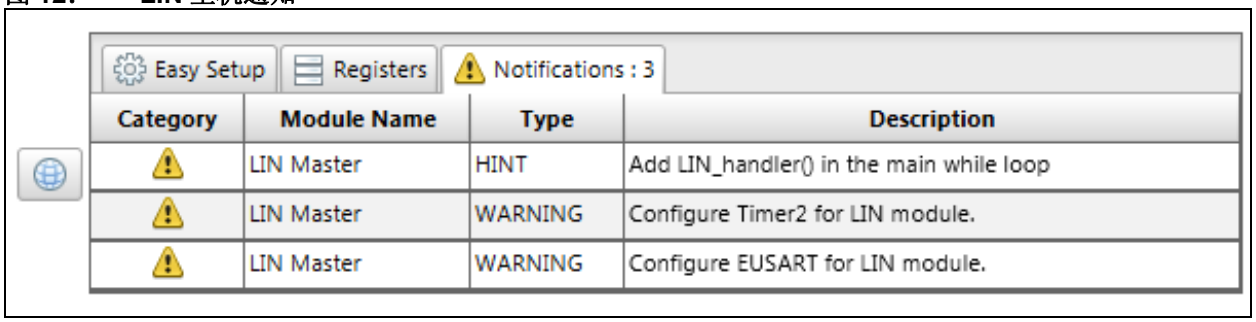


图 12： LIN 主机通知



© 2016 Microchip Technology Inc.

图 13：　关联模块设置 – EUSART

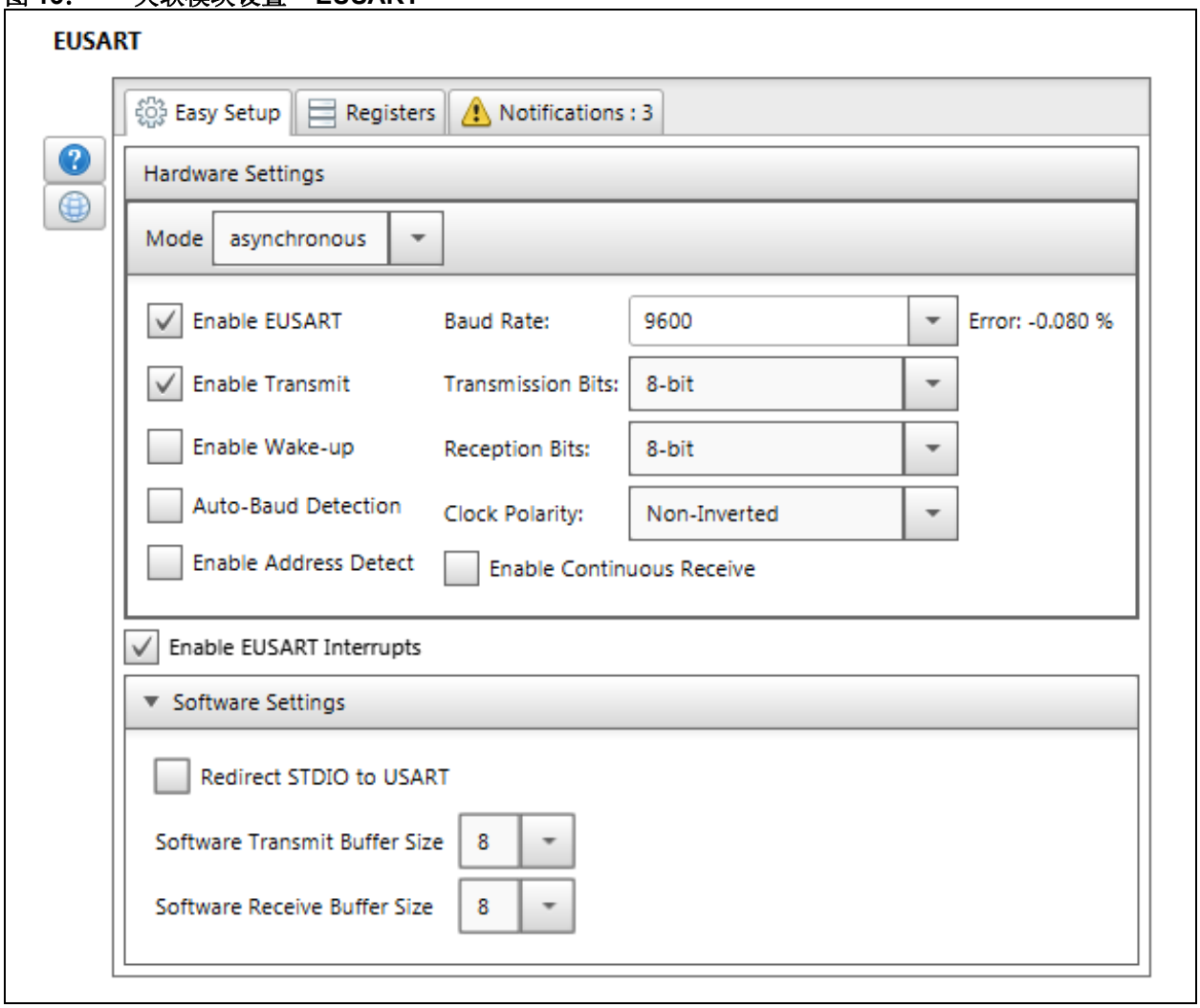


图 14：　关联模块设置 – TMR2

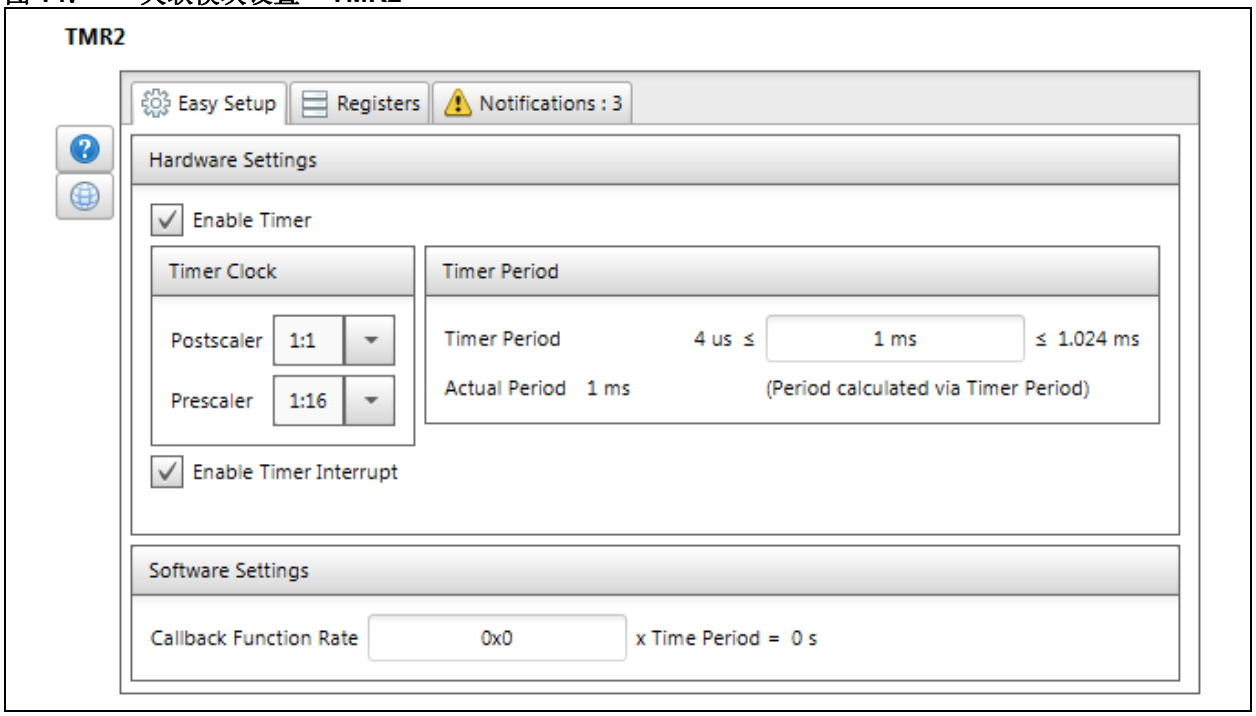
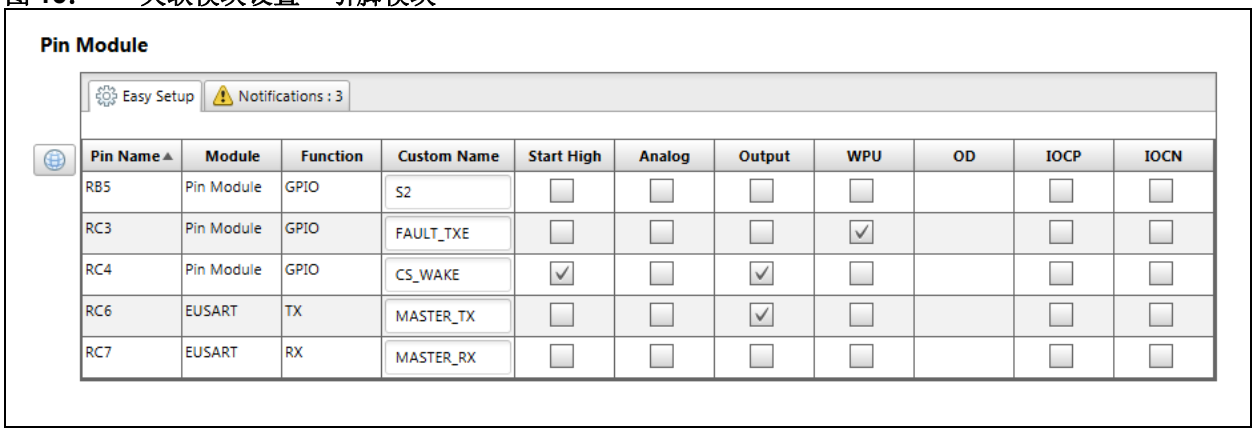


图 15：　关联模块设置 – 引脚模块



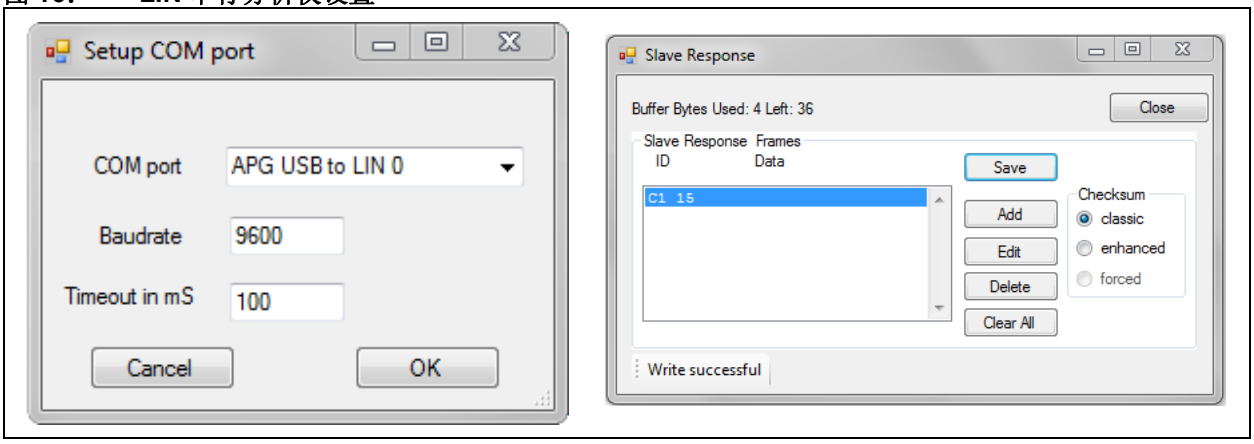
Pin Name	Module	Function	Custom Name	Start High	Analog	Output	WPU	OD	IOCP	IOCN
RB5	Pin Module	GPIO	S2	☐	☐	☐	☐		☐	☐
RC3	Pin Module	GPIO	FAULT_TXE	☐	☐	☐	☑		☐	☐
RC4	Pin Module	GPIO	CS_WAKE	☑	☐	☑	☐		☐	☐
RC6	EUSART	TX	MASTER_TX	☐	☐	☑	☐		☐	☐
RC7	EUSART	RX	MASTER_RX	☐	☐	☐	☐		☐	☐

从机设置

LIN 串行分析仪的设置如图 16 所示。本应用笔记不会详述 LIN 串行分析仪的实现。更多信息，请参见 www.microchip.com。

© 2016 Microchip Technology Inc.

图 16：　LIN 串行分析仪设置



主机演示结果

图 17 和图 18 分别显示主机演示应用程序的串行分析仪以及逻辑分析仪读数。当按下 S2 时（RB5 低电平），主机发送 0x00。相反，当未按下 S2 时（RB5 高电平），主机发送 0x01。

图 17：　主机演示的 LIN 串行分析仪显示

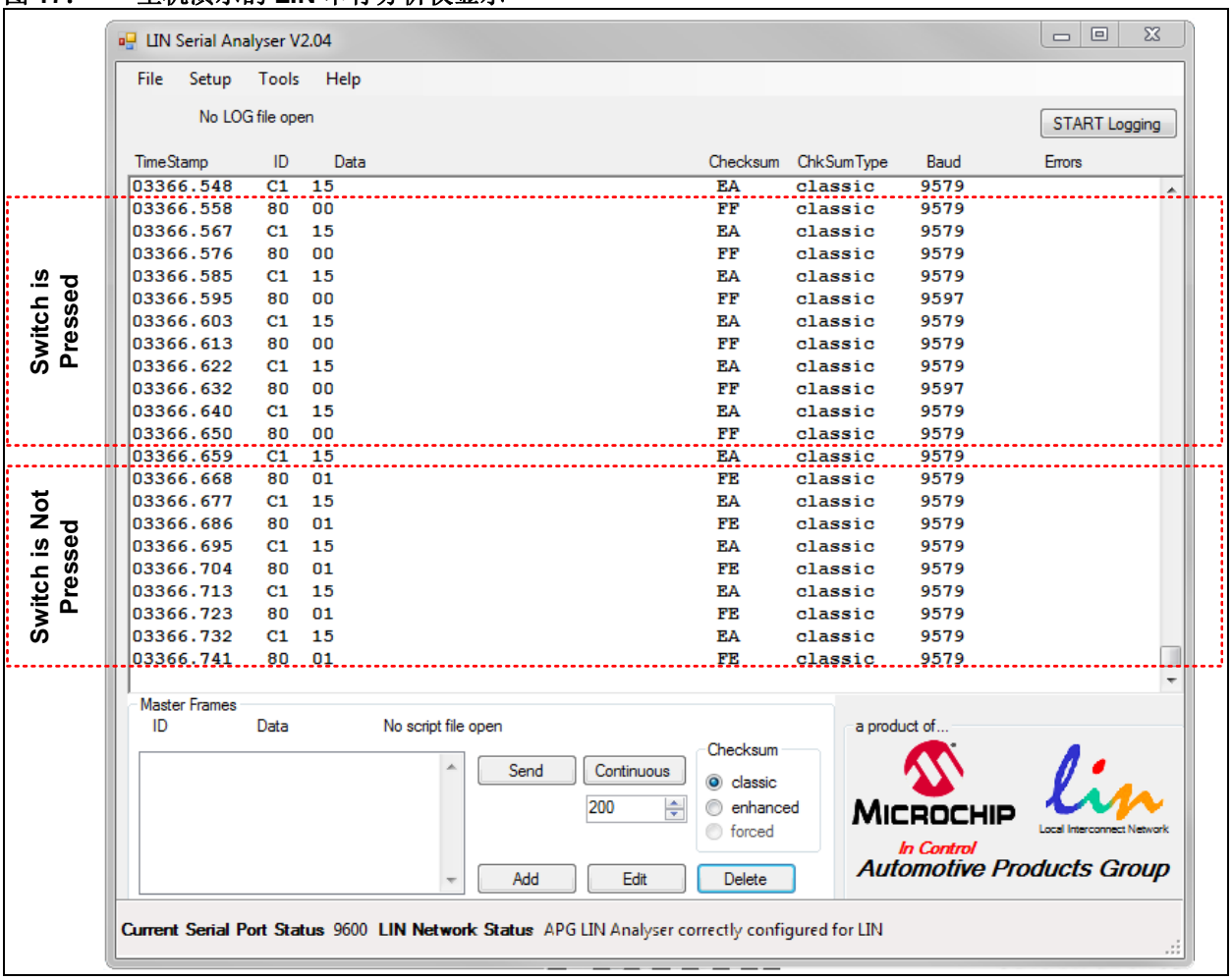
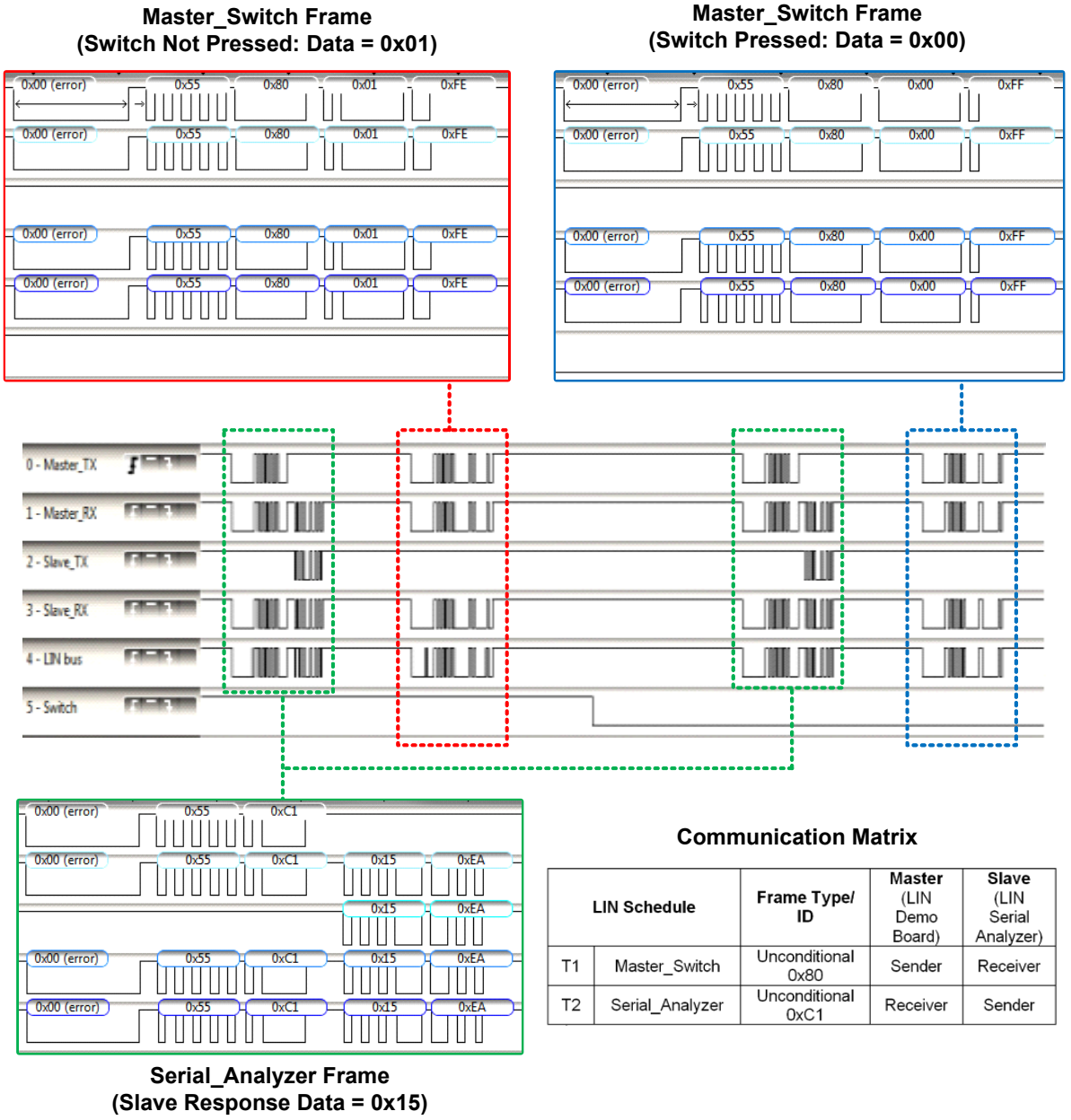


图 18：　主机演示的逻辑分析仪显示



Communication Matrix

LIN Schedule		Frame Type/ ID	Master (LIN Demo Board)	Slave (LIN Serial Analyzer)
T1	Master_Switch	Unconditional 0x80	Sender	Receiver
T2	Serial_Analyzer	Unconditional 0xC1	Receiver	Sender

LIN 从机协议栈

默认从机节点如图 19 所示。与主机表不同，从机表仅包含三列，分别是信号、类型和长度。

图 19：　默认 LIN 从机表

信号	类型	长度
UNLOCK	接收	1
RSSI	接收	1
LFRX	发送	8

© 2016 Microchip Technology Inc.

信号

如果 MCC LIN 主机协议栈部署在连接该从机的同一个总线上，则主机表列出的全部帧也应当以和 LIN 从机表一致的顺序输入。这是因为在 MCC LIN 协议栈中部署了 PID 分配系统。使用不同的主机可能不需要这样操作，但用户应当记录给定帧的特定 PID（见 **“MCC LIN 协议栈 PID 分配”**）。

类型

将帧配置为发送类型意味着从机将在接收到主机发送的带有匹配 PID 的表头之后发送响应。将帧配置为接收类型意味着从机是相应帧（PID）数据字段中数据的订阅者。

> **注：** 在 LIN 集群中，一个主机帧可以有多个订阅者（接收器或监听器）。然而，在特定时间内针对帧头只能有一次响应（只能有一个发布者）。例如，如果主机将帧 ID 0 配置为发送类型，那么多个从机节点可以有相同的帧 ID 0 作为接收类型。在另一个示例中，如果主机将帧 ID 0 配置为接收类型，那么只允许将一个从机节点配置为发送类型以响应帧 ID 0。

长度

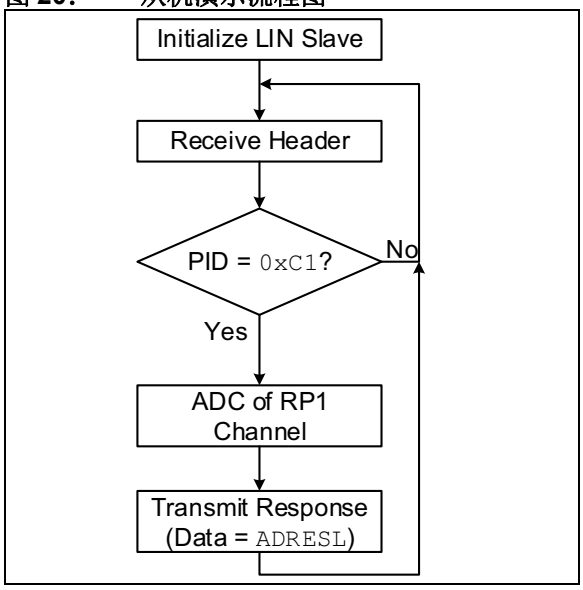
长度等于帧数据字段的字节数。对于相应的帧 PID 而言，主机节点或从机节点的长度应当一致。例如，如果 PID 0x80 帧的长度为两个数据字节，那么从机也应如此。

LIN 从机协议栈的实现

本节给出了一个使用 LIN 串行分析仪作为主机以及安装了 PIC16F1718 单片机的 PICkit™ 28 引脚 LIN 演示板作为从机的示例应用程序。本演示采用板载电位计 RP1 和 PIC16F1718 片上模数转换器（ADC）模块。硬件设置请参见 **“MCC LIN 协议栈演示”**。

从机演示的简化流程图见图 20。从机仅在接收到 0xC1 的 PID 时才会发送响应。它将发送一个数据字节，其值等于电位计输入中 ADC 读数的八个 LSb。

图 20： 从机演示流程图



MCC 配置

如需配置 MCC LIN 从机驱动程序，请执行下列步骤：

1. 如需启动 MCC v3，请前往 *Tools > Embedded > MPLAB Code Configurator v3*。
2. 在“Project Resources”下，单击 **System**，然后选择 **System Module**。
3. 选择所需的系统时钟设置。对于示例应用程序，选择 Internal Oscillator (INTOSC) mode: I/O function on the CLK pin（内部振荡器（INTOSC）模式：CLK 引脚充当 I/O 功能），该选项在 **Oscillator Select** 菜单中。“System Clock”选择 FOSC，“Internal Clock”选择 16 MHz_HF。取消勾选 **PLL Enabled**。参见图 10。
4. 禁用看门狗定时器。
5. 在“Device Resources”下，选择 *Libraries > LIN > LIN Slave*。
6. 将出现图 19 中所示的 LIN 从机表 GUI。
7. 若要增加一帧，单击 **Easy Setup** 标签页，然后单击 **Add**。“Signal-Type-Length”以下将另外出现一行。
8. 编辑字段，如图 21 所示。各列的定义参见 **“LIN 从机协议栈”**。
9. 选择 Timer2 作为定时器。由于 PIC16F1718 仅有一个 EUSART，因此 EUSART 选项卡上将只有一个选项。

10. 单击 **Notifications** 选项卡。该选项卡列出了使 LIN 协议栈具有全部功能所需的所有额外配置。记录“HINT”类通知，因为生成 MCC 设置后将会用到该通知。
11. 其中一个通知描述了 LIN 模块使用 Timer2。因此，应当配置 Timer2。如需配置，请前往 *Device Resources > Peripherals > Timer > TMR2*。
12. 勾选 **Enable Timer** 和 **Enable Timer Interrupt**。
13. Timer Period 设为 1 ms。使用高频系统时钟时，预分频器和后分频器之比可能需要进行调节。
14. 另一条消息说明 LIN 模块使用 EUSART。因此，EUSART 模块需要进行配置。如需配置，请前往 *Device Resources > Peripherals > EUSART > EUSART*。
15. 在 MCC EUSART GUI 中，将模式设置为“异步”。勾选 **Enable EUSART**、**Enable Transmit**、**Enable Continuous Receive（使能连续接收）**和 **Enable EUSART Interrupts**。将 Transmission 位和 Reception 位设为 8 位，将 Clock Polarity 设为 Non-Inverted。
16. 设置波特率。波特率的数值范围为 1 至 20000。对于示例应用程序，使用 9600 波特率。
17. 在 MCC 窗口右下角的“Table View”中设置相应的 EUSART TX 和 RX 引脚。本例中，RC6 和 RC7 分别分配至 TX 和 RX 引脚。
18. 完成 Timer2 和 EUSART 模块设置后，配置 I/O 端口，使能已连接的 LIN 收发器（MCP2021）。注意，不同的收发器可能需要进行不同设置。请参考具体收发器数据手册。对于 28 引脚 LIN 演示板而言，收发器的 CS/WAKE 和 FAULT/TXE 引脚分别连接 RC4 和 RC3。CS/WAKE 应当配置为输出并设为高电平，而 FAULT/TXE 应当设为输入且弱上拉使能。引脚模块 GUI 如图 25 所示。
19. 其它外设现可根据特定应用程序进行配置。示例应用程序使用模拟输入；因此，必须设置 ADC 模块。
20. 如需配置 ADC，请前往 *Device Resources > Peripherals > ADC > ADC*。在“Table View”中，选择 RA0 作为 ADC 输入引脚。之后 AN0 将自动添加至“Composer Area（编辑区域）”的“Selected Channels（选定通道）”列表中。使用“RP1”作为此通道的自定义名称。图 24 详细解释了完整的 ADC 设置。
21. 单击 **Generate**。首次生成 MCC 代码时，会弹出一个窗口，要求将配置设置保存为 .mc3 文件格式。输入所需文件名，单击 **Save**。配置设置总结请参见 **“从机演示中的 MCC GUI 设置”**。
22. 配置设置已生成。但配置过程尚未完成。“HINT”类通知 “Add `LIN_handler()` in the `main.c` while loop”应在生成的代码中实现。
23. 取消 `INTERRUPT_GlobalInterruptEnable()` 和 `INTERRUPT_PeripheralInterruptEnable()` 的注释（`main.c` 中）。
24. LIN 从机驱动程序至此完成设置。对于示例应用程序而言，`lin_app.c` 中应当包含 `../adc.h`，并且 `processLIN()` 应当按照例 2 所示修改。

例 2：　从机演示代码片段

```
void processLIN(void){
    uint8_t tempRxData[8];
    uint8_t cmd;
    cmd = LIN_getPacket(tempRxData);
    switch(cmd){
        case Serial_Analyzer:
            break;
        case Slave_Pot:
            Slave_Pot_Data[0] = ADC_GetConversion(RP1);
            break;
        default:
            break;
   }
```


© 2016 Microchip Technology Inc.

从机演示中的 MCC GUI 设置

下图显示了 MCC LIN 协议栈从机演示中实现的不同外设模块设置，采用 MCC Composer Area 视图。

注： 系统模块和 TMR2 设置与图 10 和图 14 中的相同。

图 21： LIN 从机设置

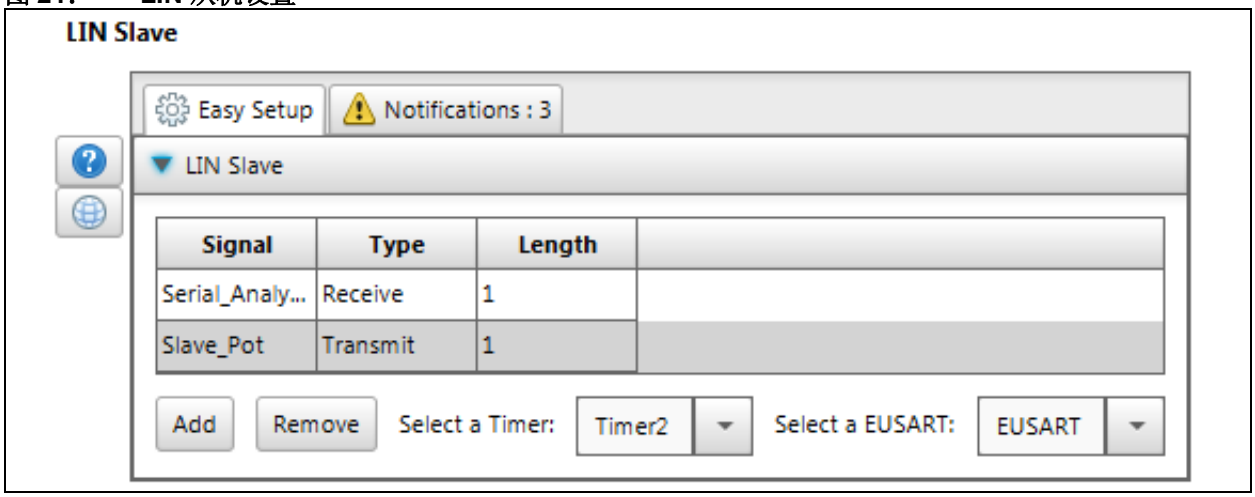


图 22： LIN 从机通知

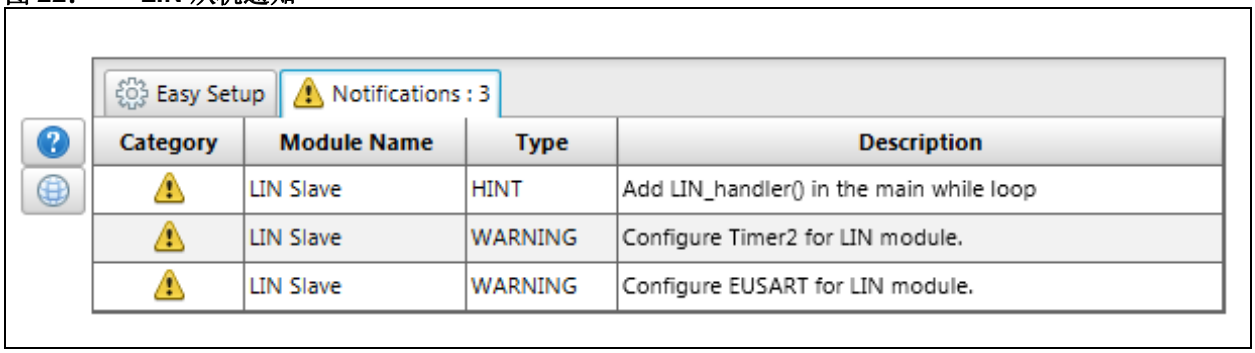


图 23： 关联模块设置 – EUSART

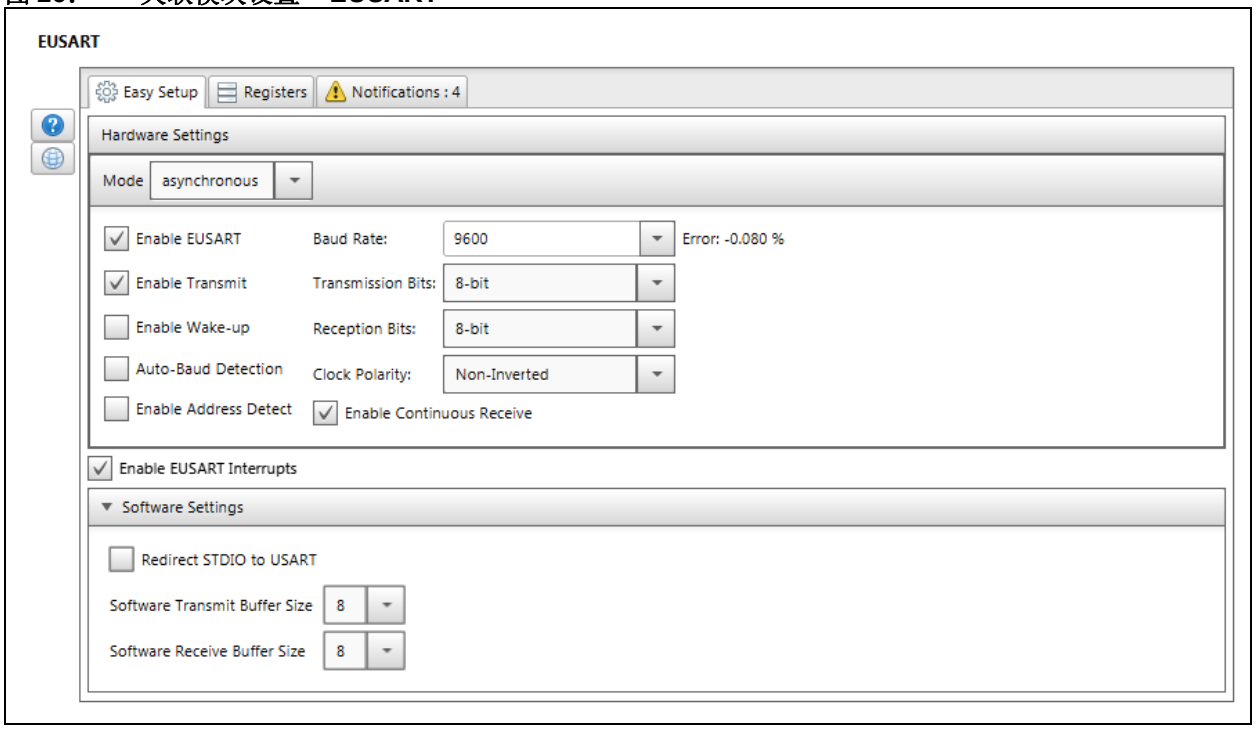
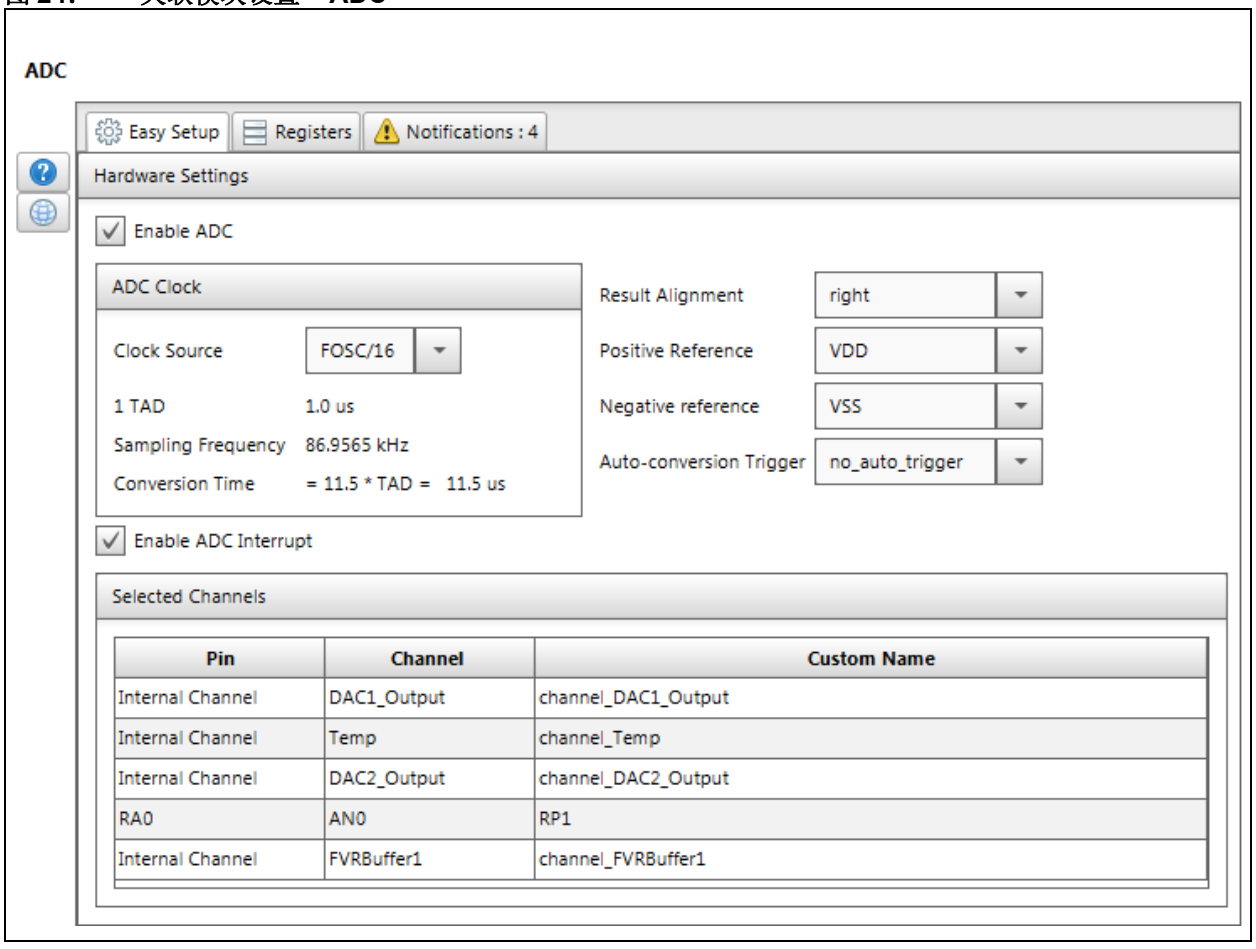


图 24： 关联模块设置 – ADC



© 2016 Microchip Technology Inc.

图 25：　关联模块设置 – 引脚模块

Pin Module

Easy Setup | Notifications : 3

Pin Name	Module	Function	Custom Name	Start High	Analog	Output	WPU	OD	IOCP	IOCN
RA0	ADC	AN0	RP1	☐	☑	☐	☐		☐	☐
RC3	Pin Module	GPIO	FAULT_TXE	☐	☐	☐	☑		☐	☐
RC4	Pin Module	GPIO	CS_WAKE	☑	☐	☑	☐		☐	☐
RC6	EUSART	TX	SLAVE_TX	☐	☐	☑	☐		☐	☐
RC7	EUSART	RX	SLAVE_RX	☐	☐	☐	☐		☐	☐

从机演示结果

图 26 和图 27 分别显示了从机演示的串行分析仪以及逻辑分析仪读数。主机周期性发送十六进制值为 0x07 的数据，而从机在每一次主机广播 0xC1 PID 时以来自电位计输入端 ADC 读数的八位 LSb 作为响应。

图 26：　从机演示的 LIN 串行分析仪显示

LIN Serial Analyser V2.04

File　Setup　Tools　Help

No LOG file open　　START Logging

TimeStamp	ID	Data	Checksum	ChkSumType	Baud	Errors
00164.491	80	07	F8	classic	9597	No Answer
00164.519	C1	F6	09	classic	9597	
00164.551	80	07	F8	classic	9597	No Answer
00164.582	C1	E1	1E	classic	9597	
00164.622	80	07	F8	classic	9597	No Answer
00164.645	C1	CC	33	classic	9597	
00164.677	80	07	F8	classic	9597	No Answer
00164.708	C1	B5	4A	classic	9597	
00164.739	80	07	F8	classic	9597	No Answer
00164.771	C1	9C	63	classic	9597	
00164.805	80	07	F8	classic	9597	No Answer
00164.832	C1	89	76	classic	9597	
00164.862	80	07	F8	classic	9597	No Answer
00164.895	C1	72	8D	classic	9597	
00164.924	80	07	F8	classic	9597	No Answer
00164.957	C1	55	AA	classic	9597	
00164.997	80	07	F8	classic	9597	No Answer
00165.019	C1	31	CE	classic	9597	
00165.050	80	07	F8	classic	9597	No Answer
00165.081	C1	12	ED	classic	9597	
00165.113	80	07	F8	classic	9597	No Answer
00165.113	80	07	F8	classic	9597	No Answer

Master Frames　ID　Data　No script file open

80 07
C1

Send　Stop　20

Checksum: classic / enhanced / forced

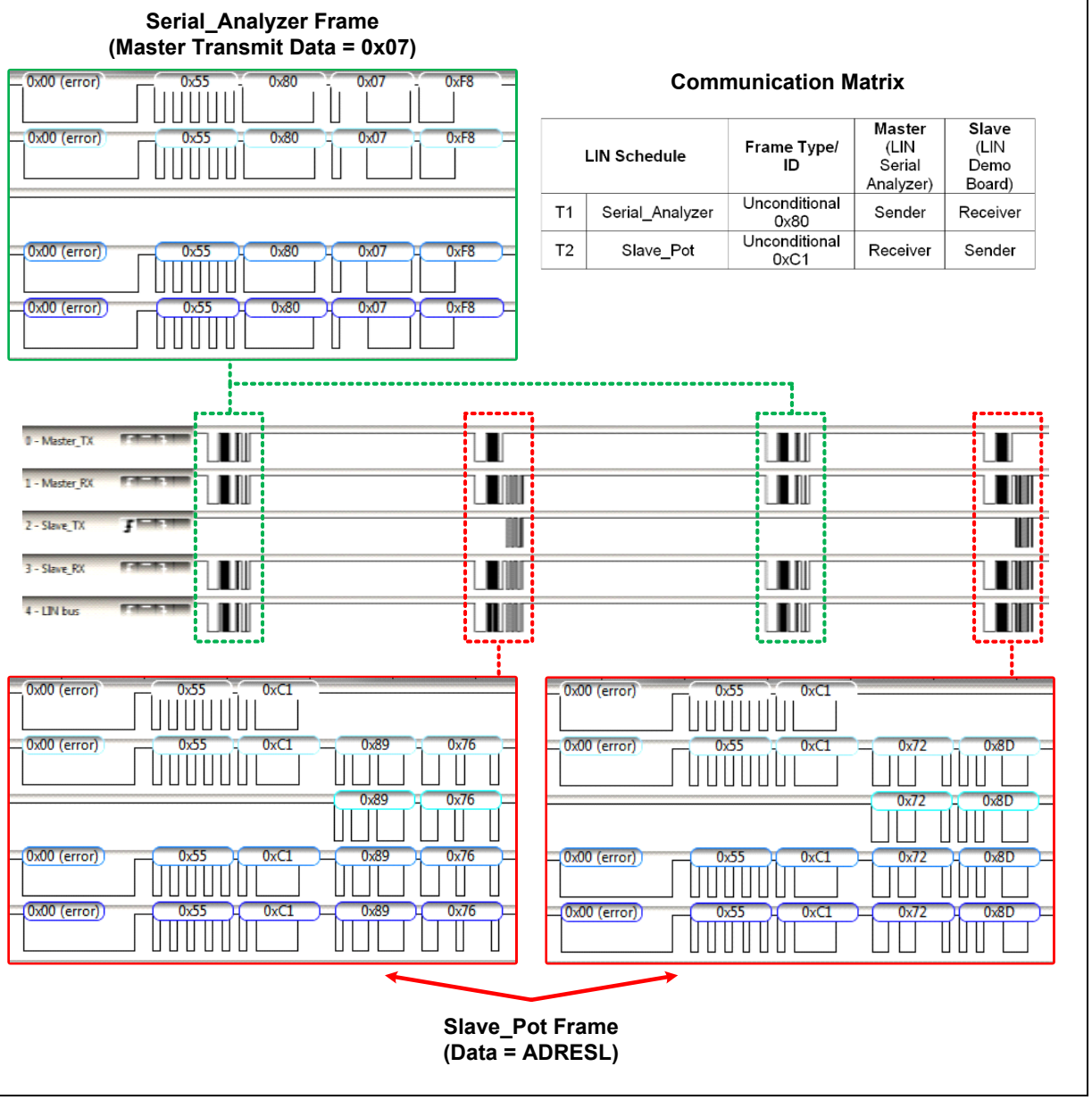
Add　Edit　Delete

a product of... MICROCHIP　lin Local Interconnect Network

In Control Automotive Products Group

Current Serial Port Status 9600　LIN Network Status Transmission successful

图 27：　从机演示的逻辑分析仪显示



结论

本应用笔记演示说明如何使用 Microchip 的 MPLAB 代码配置器 （MCC）快速完成 LIN 相关嵌入式应用的原型开发。 LIN 代码针对主机和从机节点生成，用户学习如何配置 I/O、EUSART、ADC 和系统时钟等外设。此外还说明了 LIN 的实际传输，让用户对该协议有基本的了解。接下来应当深入了解 LIN 规范，进入生产阶段。再次强调，MCC LIN 协议栈仅供原型开发使用，不支持完整的 LIN 规范。如需完整的汽车或生产驱动程序，设计人员应咨询 Microchip 设计部门或第三方合作伙伴，比如 IHR。

参考文献

1. LIN Specification Package Revision 2.2A。

© 2016 Microchip Technology Inc.

附录 A： 帧 PID 查找表

表 A-1： 搭载信号的帧 PID 查找表

P1	P0	ID[5…0] PID<5:0>		PID 字段 PID<7:0>	
PID<7>	PID<6>				
⌐(ID1⊕ID3⊕ID4⊕ID5)	ID0⊕ID2⊕ID3⊕ID4	十进制	十六进制	十进制	十六进制
1	0	**0**	0x00	128	0x80
1	1	**1**	0x01	193	0xC1
0	1	**2**	0x02	66	0x42
0	0	**3**	0x03	3	0x03
1	1	**4**	0x04	196	0xC4
1	1	**5**	0x05	133	0x85
0	0	**6**	0x06	6	0x06
0	0	**7**	0x07	71	0x47
0	0	**8**	0x08	8	0x08
0	0	**9**	0x09	73	0x49
1	1	**10**	0x0A	202	0xCA
1	1	**11**	0x0B	139	0x8B
0	0	**12**	0x0C	76	0x4C
0	0	**13**	0x0D	13	0x0D
1	1	**14**	0x0E	142	0x8E
1	1	**15**	0x0F	207	0xCF
0	0	**16**	0x10	80	0x50
0	0	**17**	0x11	17	0x11
1	1	**18**	0x12	146	0x92
1	1	**19**	0x13	211	0xD3
0	0	**20**	0x14	20	0x14
0	0	**21**	0x15	85	0x55
1	1	**22**	0x16	214	0xD6
1	1	**23**	0x17	151	0x97
1	1	**24**	0x18	216	0xD8
1	1	**25**	0x19	153	0x99
0	0	**26**	0x1A	26	0x1A
0	0	**27**	0x1B	91	0x5B
1	1	**28**	0x1C	156	0x9C
1	1	**29**	0x1D	221	0xDD
0	0	**30**	0x1E	94	0x5E
0	0	**31**	0x1F	31	0x1F
0	0	**32**	0x20	32	0x20
0	0	**33**	0x21	97	0x61
1	1	**34**	0x22	226	0xE2
1	1	**35**	0x23	163	0xA3
0	0	**36**	0x24	100	0x64

表 A-1： 搭载信号的帧 PID 查找表 （续）

P1	P0	ID[5…0] PID<5:0>		PID 字段 PID<7:0>	
PID<7>	PID<6>				
⌐(ID1⊕ID3⊕ID4⊕ID5)	ID0⊕ID2⊕ID3⊕ID4	十进制	十六进制	十进制	十六进制
0	0	**37**	0x25	37	0x25
1	0	**38**	0x26	166	0xA6
1	1	**39**	0x27	231	0xE7
1	0	**40**	0x28	168	0xA8
1	1	**41**	0x29	233	0xE9
0	1	**42**	0x2A	106	0x6A
0	0	**43**	0x2B	43	0x2B
1	1	**44**	0x2C	236	0xEC
1	0	**45**	0x2D	173	0xAD
0	0	**46**	0x2E	46	0x2E
0	1	**47**	0x2F	111	0x6F
1	1	**48**	0x30	240	0xF0
1	0	**49**	0x31	177	0xB1
0	1	**50**	0x32	50	0x32
0	1	**51**	0x33	115	0x73
1	1	**52**	0x34	180	0xB4
1	0	**53**	0x35	245	0xF5
0	1	**54**	0x36	118	0x76
0	0	**55**	0x37	55	0x37
0	1	**56**	0x38	120	0x78
0	0	**57**	0x39	57	0x39
1	0	**58**	0x3A	186	0xBA
1	1	**59**	0x3B	251	0xFB

© 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。

© 2016, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN：978-1-5224-0823-9

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

© 2016 Microchip Technology Inc.