

使用手册

- USB2.0 总线 AD 采集模块
- 8 路差分输入。
- 16 位 800KHz AD
- 8M DFIFO 缓冲
- 连续采样及存储采样模式
- 开关量：16DI/16DO
- 两路 24 位计数器
- 两路 20 位脉冲发生器



在开始使用前请仔细阅读下面说明

检查

打开包装请查验如下：

- ✧ MP4222采集模块
- ✧ 光盘。
- ✧ USB电缆一条
- ✧ 20、40线电缆各一套。

安装

将 MP4222 插入主机的任何一个 USB2.0 插槽中并将外部的输入、输出线连好。如果主机有多套 MP 系列 USB 模块，请每次只安装一个模块。软件启动安装请察看第 3 章说明。如果主机 USB 电源供应能力差，请连接附送的电源。

保修

本产品自售出之日起一年内，用户遵守储存、运输和使用要求，而产品质量不合要求，凭保修单免费维修。因违反操作规定和要求而造成损坏的，需缴纳器件费和维修费及相应的运输费用，如果板卡有明显烧毁、烧糊情况原则上不予维修。如果板卡开箱测试有问题，可以免费维修（限购买板卡 10 天内）。

软件支持服务

自销售之日起提供 6 个月的免费开发咨询。

手册介绍

请用户在使用前务必详细阅读手册。

第一章：介绍板卡的性能及功能

第二章：硬件功能详细说明

第三章：连接器连接说明；配套端子板；常用信号处理方法。

第四章：相关软件驱动安装、函数说明

目 录

手册介绍.....	1
目 录.....	2
一、MP4222 开始.....	5
注意事项.....	5
连接 MP4222.....	5
驱动安装步骤.....	5
安装方法:	5
测试.....	7
连接:	8
多个 MP4222 的处理建议.....	9
二、MP4222 说明.....	10
2.1 MP4222 板简介.....	10
特点:	10
相关产品:	11
配套端子板:	11
2.2 主要特点、性能.....	11
AD 部分:	11
2.3 AD 工作模式:	12
采集模式.....	12
启动及转换控制.....	12
开关量输入输出及计数器.....	13
开关量.....	13
计数器.....	13
软件支持:	14
其他特性.....	14
三、原理说明.....	15
3.1: 简介.....	15
3.2: AD 及数据计算.....	16
模拟输入.....	16
AD 输入校正.....	17
AD 转换数据格式与计算.....	17
3.3 AD 采样的工作模式.....	18
连续采样模式:	18
存储采样模式:	19
MP4222 硬件转换控制模式:	19
定时器与外部时钟.....	19
触发开始采样.....	20
小结: 采样模式.....	20

相关函数:	21
3.4: 开关量部分的原理:	21
3.5: 计数器.....	21
3.6: 冲输出原理.....	23
相关操作函数:	23
PWM 方波输出.....	23
单次脉冲输出 (SP 模式, 软件触发单稳态输出)	24
PLP 模式: 个数可编程脉冲输出.....	25
四、安装与连接.....	26
4.1 安装.....	26
关于 USB.....	26
4.2 连接注意事项.....	26
4.3 连接器插座定义.....	27
MP4222 插座位置示意图:	27
P1 定义:	28
P2 定义:	28
开关量复合用脚.....	29
辅助电源插座:	29
内部电源选择.....	30
4.4: 配套端子板.....	30
ACS420 说明.....	31
4.5: 常用信号的连接、处理.....	31
差分信号采集.....	31
利用差分输入测量无源信号输出或隔离信号输出.....	32
利用差分输入测量远距离单端信号传输.....	32
加入隔离电容采集交流信号.....	33
利用开关量输出驱动继电器.....	33
开关量输出驱动光藕.....	34
开关量输入隔离.....	34
五、软件.....	35
5.1: 软件安装与说明.....	35
软件说明.....	35
驱动安装.....	36
安装方法:	36
5.2: 接口函数说明.....	38
函数简介.....	38
MP4222 的函数分类:	38
函数中的变量.....	39
设备操作函数.....	39
连续采集 AD 操作函数.....	39

概况.....	39
流程图.....	40
连续采样函数说明.....	40
存储采集 AD 操作函数.....	43
概况.....	43
流程图.....	44
存储定长采样函数说明.....	44
开关量操作函数.....	46
计数器操作函数.....	47
脉冲发生操作函数.....	48
EEPROM 读写操作函数.....	49
5.3: VC 程序编程说明.....	51
5.4: VB 程序编程说明.....	52
5.5 Labview 程序编程说明.....	52
六、附录.....	54
示意图.....	54

一、MP4222 开始

注意事项

1. 在使用前请将光盘中的\USB\MP4222 目录中的文件拷贝到你的硬盘中。
2. 确认操作系统：MP4222 适合 windows XP/2000/win7 **32 位操作系统**
3. 以下例子的图片中显示的是 MP436，用户把 MP436 等效为 MP4222 即可。

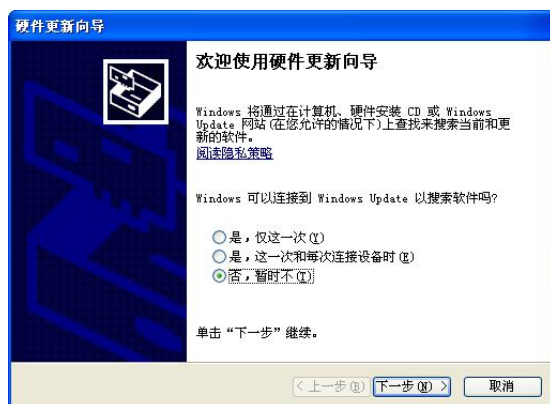
连接 MP4222

驱动安装步骤

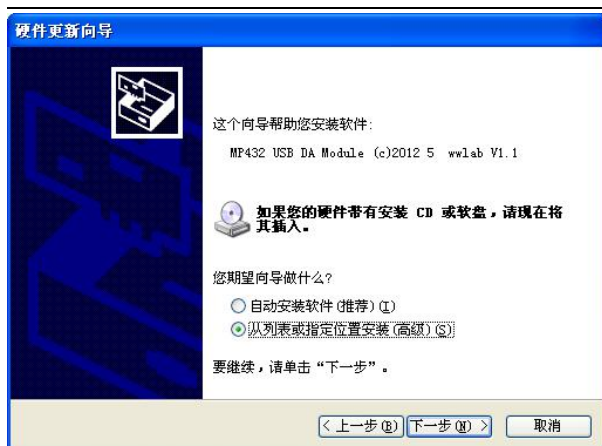
将 MP4222 连接到到你的 PC 机的任何一个 USB 端口，此时 PC 机会提示找到一个新设备，需要安装驱动程序。安装方法如下：

安装方法：

1. 将MP4222插入一个USB插槽，如果有多个MP4222模块，请每一次安装一个MP4222模块。第一次安装的模块的设备号为“0”，第二次安装的模块的设备号为“1”，依次类推。
2. Windows将会显示找到新硬件，可按找到新硬件向导进行下一步，不要选择windows自动搜索软件



3. 选择从指定位置安装驱动

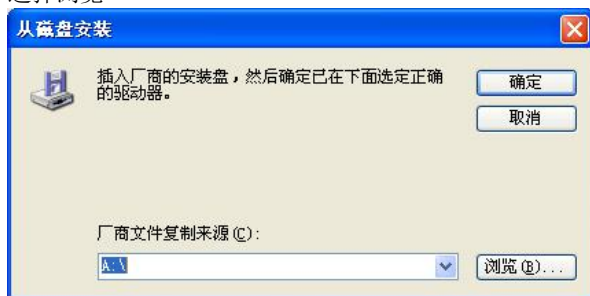


下一步:

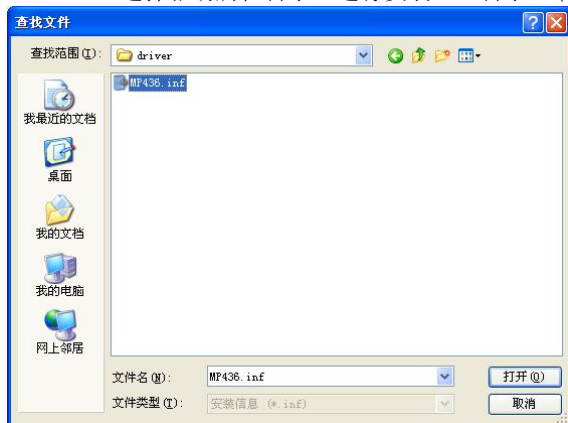


4. 选择不要搜索, 自己安装驱动
5. 下一步, 在对话框中选择从磁盘安装

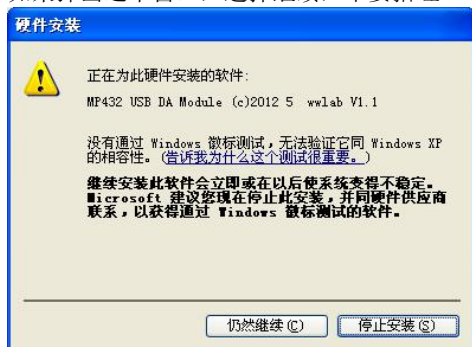
选择浏览



6. 选择驱动所在目录, 进行安装。(目录: \USB\MP4222\driver) 文件: MP4222.inf



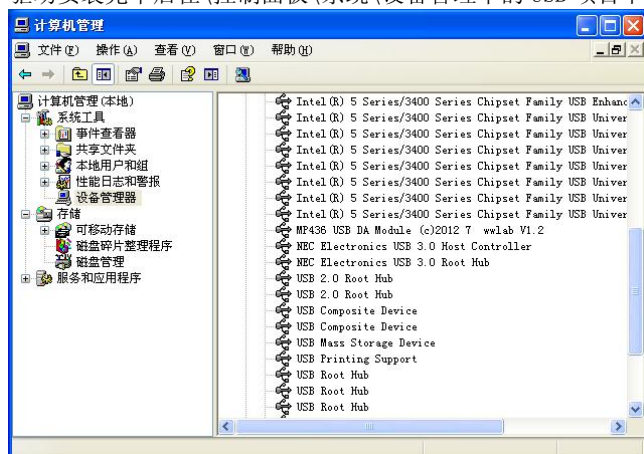
如果弹出这个窗口，选择继续，不要搭理



7. Windows将显示完成添加/删除硬件向导，单击完成即可完成安装过程。
8. 完成后如果安装第二个MP4222，插入第二块MP4222模块，重复上述安装过程。

安装后，程序自动将 MP4222.dll 动态链接库程序拷贝到 windows 系统的 system32 目录中，用户用也可以自己将 DLL 拷贝到当前工作目录中。

驱动安装完毕后在\控制面板\系统\设备管理中的 USB 项目下可以找到 MP4222。

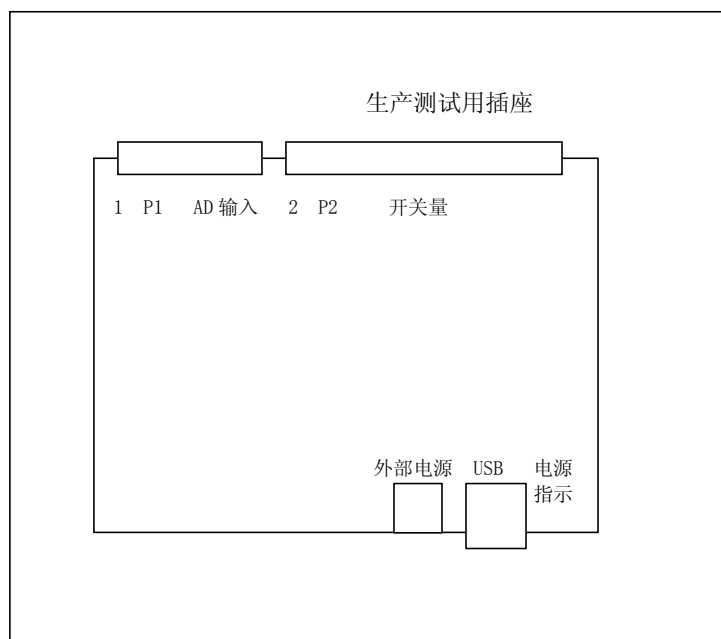


如果需要更新设备驱动，请在硬件设备管理目录下选择MP4222 -> 按鼠标右键选择属性 -> 选择驱动程序 -> 选择重新安装驱动程序。

测试

- 1) 安装完 MP4222 后，到你的\MP4222 目录中，选择运行 MP4222 测试程序 (Test MP4222.exe)。
- 2) 程序中可以观察 AD 采样数值或波形。
- 3) 控制开关量输出、读入开关量状态。
- 4) 控制计数器、脉冲输出。

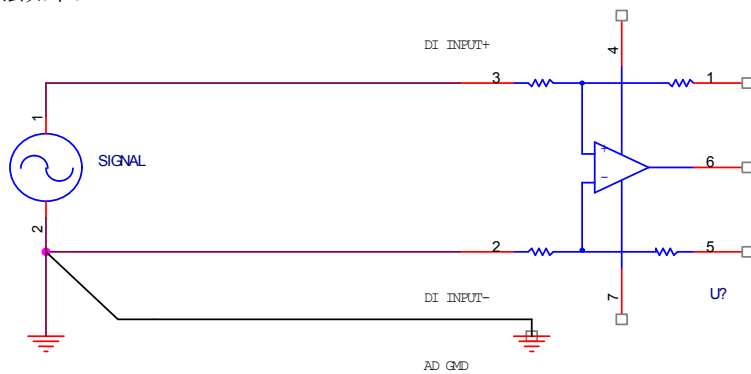
连接:



连接定义: 见第四章部分。

注意:

AD 输入为差分输入, 因为高速 16 位 AD 对噪音更加敏感, 用户需要利用差分模式减小输入噪音, 连接方法如下:



用户利用上述方法, 利用输入差分放大器的共模抑制特性来减小传输中的干扰。差分输入的“+”连接到信号输出, 差分输入的“-”连接到信号输出的地线, 同时利用额外的一条连线连接 AD 与信号输出的地线。由于差分模式采集+/-输入的低压差, 而干扰是同时加载到+/-输入的共模信号, 能够被一定程度抵消掉。

多个 MP4222 的处理建议

如果用户同时使用多个 MP4222，涉及到模块编号的问题。用户可以利用 MP4222 自带的 EEPROM 掉电保持存储器来存储用户定义的设备编号，这样用户在初始化设备后，对相应的设备进行 EEPROM 读出操作，可以得到自己定义的硬件设备号码。

建议：为了保证更高的 AD 传输效率，建议用户将不同的 MP4222 对应连接到不同的 USB 主控芯片上（通常主板有 2 个 USB 主控芯片或连接到 USB3.0 扩展接口上）。

注意：用户在维修更换设备后，需要重新设置 EEPROM 数据。

二、MP4222 说明

2.1 MP4222 板简介

MP4222是一款USB2.0总线多功能16位800KHz高速采集模块，具有8路差分双端模拟输入、开关量16路输入/16路输出、二路24位减法计数器（支持脉冲间隔或频率测量功能）、两路脉冲发生器。采用USB2.0总线，支持即插即用。

MP4222内置8M Byte DFIFO 提供5秒的采集数据缓冲,可以更好支持全速实时不间断全速采集及多个MP4222并行工作。采集支持：内、外部触发采集模式及内外时钟模式；支持连续数据采集或存储式定长采集（此模式下采集长度可以软件设置为1点 - 2M点，采集过程硬件自动控制）。存储采集模式不占用计算机资源，适合：多个模块并行工作、低速计算机系统。

MP4222为用户提供了32byte的EEPROM空间，用户可以利用EEPROM记录数据在板上，并且掉电后不会丢失。

注：

1. MP4222必须在USB2.0或USB3.0接口条件下应用，不支持1.0接口。用户可以通过PCI PCIE插槽扩充2.0接口。
2. **±2.5V及±1.25V 输入不保证使用性能**

特点：

- 8路差分（双端）输入，采样通道自动扫描。
- 16位800KHz AD，采用软件自动校正技术，自动校正零点及满度数值。
- AD输入范围，±10V、±5伏（软件控制、所有通道输入范围一样）。
- 额外提供：±2.5V、±1.25V输入，由于噪音较大，**不建议具有高精度要求的用户使用。**
- 两种采集模式：连续采集及存储定长采集。
- AD启动方式：软件、硬件触发。与开关量输入通道12共用。外部触发可以选择上升或下降边沿触发
- AD转换时钟：内部、外部触发。与开关量输入通道13共用。外部时钟可以选择上升或下降边沿有效。
- AD输入通道自动扫描转换，用户可以任意设置转换的起始及结束通道。
- 开关量：16入（DI0-DI15）/16出（DO0-DO15）（TTL电平）。
- 2路24位计数器，支持减法计数及任意个脉冲间隔时间测量（或频率测量）。最大计数频率5MHZ，脉冲间隔测量采用24位定时器，基础时钟10MHz，测量范围200nS-1.6S。输入与开关量输入14、15通道共用。
- 2路20位脉冲输出，时钟：10MHz。支持PWM方波、单次正脉冲输出、可编程个数及频率方波输出。脉冲输出与开关量输出14、15号共用（用户可以软件选择输出通道：开关量输出或脉冲输出）。

相关产品:

MP422E: 16位16路400KHz AD, USB2.0采集模块。

MP426: 15位 12路无相差AD 速度: 100K/通道 USB2.0采集模块。

AC6022: PCI总线低价格16位100K 16路AD

AC6624: PCI总线16位400K 32路AD

AE312: 面向嵌入式应用USB模块, 16位16路250KHZ AD, 支持windows、winCE、linux。

配套端子板:

- ACS420 螺丝端子接线板。
- ACS424 16路 BNC 插座(Q6)端子板。
- AC145N 隔离16入/16出(共地输出)。
- AC140E: 隔离16入, 16路继电器板。

2.2 主要特点、性能

AD 部分:

- 8路差分输入, 采样通道自动扫描, 差分输入CMRR大于70dB。
- 16位800KHz AD, 采用软件自动校正技术, 自动校正零点及满度数值。
- AD输入范围, $\pm 10V$ 、 $\pm 5V$ (软件控制、所有通道输入范围一样)。
- 额外提供: $\pm 2.5V$ 、 $\pm 1.25V$ 输入, 由于噪音较大, **不建议具有高精度要求的用户使用。**
- AD转换器: 16位AD, 速度800KHZ (1.25 μ s转换时间)。
- 通道输入阻抗: 10兆欧姆。
- 输入最大共模电压: 小于 $\pm 10V$ 。
- 输入插座: 20线扁平电缆插座。
- 输入通道支持任意起始到任意结束通道的自动扫描。
- 系统精度见下表:

增益	输入范围	精度	噪音	备注
0	$\pm 10V$	0.03%FSR	$\pm 2LSB$	
1	$\pm 5V$	0.03%FSR	$\pm 3LSB$	
2	$\pm 2.5V$	0.05%FSR	$\pm 5LSB$	不建议高精度用户 使用
3	$\pm 1.25V$	0.05%FSR	$\pm 6LSB$	

注:

1. 1LSB=1/65535。

2. 以上为典型测量数值
3. 条件：温度 23 度 ± 10 度
4. 噪音为输入短接到地线的数值。
5. 统计点数：1000个测量点。
6. ±2.5V及±1.25V 输入不保证使用性能

2.3 AD 工作模式:

采集模式

MP4222 AD 有 2 种采集模式，分别对应函数 MP4222_ADXXX MP4222_FADXXX，即：连续采集模式；存储采样模式。

连续采样模式:

用户可以连续不间断进行采样。启动转换后，用户不断从 AD 数据缓冲存储器中不断读入数据，这些数据由硬件保证为一个连续的数据流，直到用户测量完毕关闭转换。这种模式需要软件不断读出数据，但采集长度或时间可以无限长。适合连续状态检测或长时间记录信号的应用场合。

存储采样模式:

用户设置需要采样的总长度（最大 2,000,000 点），启动转换后，硬件自动将采样数据存储于 MP4222 的存储器中，直到达到设置采样长度后自动停止转换。这种模式在启动后不需要用户干预，由硬件自动控制、不占用计算机任何资源，更加适合多个 MP4222 同时工作，但最大采样长度只有 2000000 点。适合定长采样及分析应用。

启动及转换控制

■ 启动模式：软件、外部硬件触发，软件选择。

1. 软件启动：当用户软件发出启动命令后，AD开始转换。
2. 外部触发启动：用户启动转换后，一个有效的硬件触发边沿输入信号启动AD开始转换。
 - 输入：TTL电平，高电平2-5伏，低电平0-0.8伏。
 - 触发电平：大于2伏（误差±10%）。
 - 触发模式：软件选择，上升或下降边沿触发。
 - 触发延时：1个转换时钟周期（内部时钟）+ 50nS
 - 触发输入与开关量输入通道DI12共用。
 - 可以利用触发同步多个采集模块同时启动

■ 转换时钟：内部10MHz时钟、外部时钟，软件选择。

1. 外部时钟模式：MP4222支持外部同步时钟输入，可以由外部时钟来控制AD转换，一个有效时钟边沿（上升或下降）进行一次AD转换（转换一个通道）。
 - 转换时钟可以由外部输入（与开关量输入DI13共用）
 - 时钟输入电平与开关量输入相同。
 - 外部时钟输入延时小于50nS。
 - 外部时钟输入可以软件选择输入的上升或下降边沿有效。
 2. 内部时钟：20MHz基准时钟，16位可编程定时器（范围：25-65535），可以按照50nS一步的精度设置AD转换周期。
- 定时器：内部16位定时器，基准时钟20MHZ(0.05uS周期)，16位定时器设置范围为“25-65535”之间的任何数据。转换速度约400Hz-800KHZ，对应AD的转换周期320uS - 1.25uS，用户调节步长0.05uS。

开关量输入输出及计数器

开关量

- 16路输入通道，性能：
1. 输入电压：TTL电平，兼容3伏电平。
 2. 高电平：大于2伏。
 3. 低电平：小于0.8伏。
 4. 输入电压范围：0-5伏
 5. 输入端口内部通过10K电阻上拉到3伏。因此悬空时，输入=1。
- 16路输出通道，性能：
1. 输出电压：5伏电平，兼容TTL电平。
 2. 高电平：大于2.5伏。
 3. 低电平：小于0.5伏。
 4. 最大输出电流：10毫安/路。
 5. 开关量输出上电自动清零。

计数器

- 二路24位计数器：
- MP4222有二路24位减法计数器通道0及1号（CNT0、CNT1），范围0-16,777,215。计数器同时具有测量任意个脉冲间的时间间隔功能。
1. 输入电平：与开关量输入相同。
 2. 最大计数频率：5MHz。
 3. 计数器输入时钟上升边沿有效。
 4. 硬件锁存计数器溢出标志（计数器归零），并可以软件读出。

5. 可以测量N个脉冲上升边沿之间的时间间隔 (N=2-16777215)。可以快速测量信号的频率。注1
6. 计数器输入通道0号与开关量输入DI14共用。
7. 计数器输入通道1号与开关量输入DI15共用。

■ 2路20位脉冲输出

1. 基准时钟：10MHz。
2. 20位计时器。
3. 3种输出模式：
 - 支持PWM方波（占空比可编程方波）
 - 单次正脉冲输出
 - 可编程个数及频率方波输出。
4. 脉冲输出与开关量输出14、15号共用（用户可以软件选择输出通道：开关量输出或脉冲输出）。
5. 输出特性与开关量输出相同。

软件支持：

1. 操作系统支持win98/win2000/winXP/win7 32位版本
2. 开发包：驱动程序、DLL库函数
3. 例子：MFC、VB
4. 测试程序
5. LABVIEW例子。

位置：光盘的\USB\MP4222目录。

其他特性

- 总线：符合USB2.0标准
- 工作电流：小于500mA。
- 电源：USB供电，可以选择外部5伏电源供电（mini USB口）。
- 外部电源输入电压：5伏，±5%。供电为mini USB接口。用户也可以选择内部3位“PW1”连接器供电。
- 内部板卡尺寸：10cm x 11.5cm

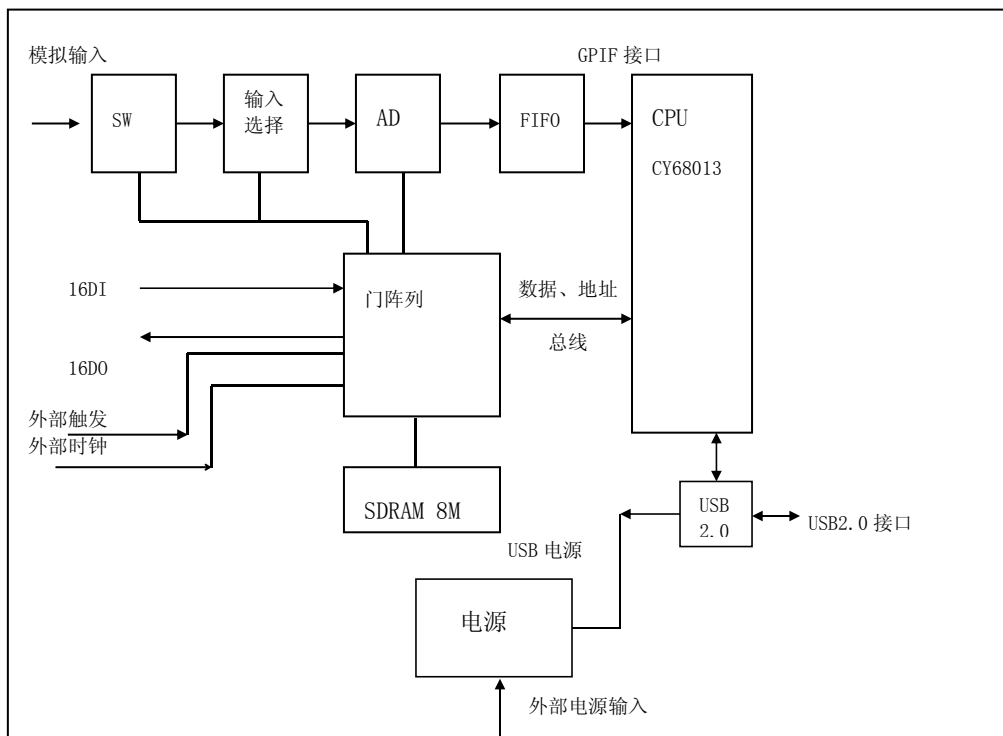
三、原理说明

3.1: 简介

MP4222 采用 USB2.0 接口，控制接口采用 Cypress 公司的 CY68013 芯片，提供 16M Byte/s 的高速通讯速率。AD 部分接口采用 GPIF 与 FIFO 接口，数据自动传输、无需板上 CPU 干预，内部数据传输速率可以达到 20M Byte/s。针对 USB 供电电源不稳定，板上设计了开关式 DC-DC 电源，使 MP4222 从 4.6V-5.5V 输入电源都可以稳定工作。

AD 转换器采用 16 位 800KHZ AD，支持 800KHZ 速度的连续采集及存储采集（最大长度 2 百万点）。开关量采用 FPGA 门阵列芯片，提供 4 个 8 位 I/O 口：16 输入/16 输出。输出上电自动清零。并在内部设计集成了 2 个 24 位计数器、2 个 20 位脉冲发生器。

原理框图：



3.2: AD 及数据计算

模拟输入

MP4222 具有 8 路差分模拟输入：AIN0-AIN7，输入阻抗 10 兆欧姆。输入具有过压保护，可以承受瞬时 ± 20 伏的电压。

采样时，用户可以任意设置起始采样通道 stch 及停止采样通道 endch，要求 $endch \geq stch$ 。

AD 输入有 4 档量程，由软件控制（详细见编程部分说明，分别对应增益选择：0-3 号）。输入范围：

增益选择	输入范围
G	
0	$\pm 10V$

1	±5V
2	±2.5V
3	±1.25V

注：如果用户对精度要求高，G=2,3 不建议使用。

以上的功能由 MP4222_AD () 函数中的参数控制，如下：

1. stch: 控制 AD 采样的起始通道号 (=0-7)
2. endch: 控制 AD 采样的结束通道号 (=0-7)
3. gain: =0-3。
4. sisi: 单端输入或差分输入，MP4222 此参数=0。

AD 输入校正

AD 采用自动软件校正，能够有效的减小温度偏移带来的误差。用户在开始采样工作之前**必须调用一次 MP4222_CAL () 函数**，对 AD 进行一次校正操作，否则采样误差将极大！

AD 转换数据格式与计算

AD 采样的数据按从 stch 开始到 endch 结束的通道扫描顺序，循环存放，每一个 16 位采样结果按低 8 位在前，高 8 位在后的顺序排列，如下：

stch, stch+1, ..., endch..... stch,..., endch,结束

MP4222 函数在将数据发送给客户时已经按照顺序将数据存放到客户指定的数组中了（32 位长整形，其中低 16 位为 16 位 AD 采样结果）。

MP4222 采用 DAfifo (动态异步缓存) 接口，容量为 8192K byte，具有空 (EF)、半满 (HF)、溢出 (FF) 标志，标志为“0”时有效。采样数据不断的写入 FIFO 中，当发生用户读入数据操作时，GPIF 接口自动将 FIFO 中所有的数据传输到计算机中。如果用户没有及时读出数据，FIFO 将溢出，数据队列顺序会打乱（新进入的数据将冲掉最先写入的数据）。如果出现 FIFO 溢出，只能靠提高计算机速度或降低采样速度或扩大存储器容量来弥补，也可以采用存储采集模式（此模式不受计算机速度限制）。

数据格式：16 位读出数据 (D15-D0) 定义如下：

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
AD15	AD14	AD13	AD12	AD11	AD10	AD9	AD8

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
AD7	AD6	AD5	AD4	AD3	AD2	AD1	AD0

- D16-D0: 32 位读入数据的低 16 位数据的从高到低位。
- AD15-AD0: 16 位采样数据, (MSB - LSB)。

16 位转换数据范围为 0-65535, 采用偏移码输出, 数据 \geq 32768 为“正电压”、数据 $<$ 32768 为“负电压”。
0 为负最大、65535 为正最大。

对应电压计算:

设: data 为 16 位转换结果

±10 伏, G=0

电压= $(data-32768)*10000.0/32768$ (mV)

±5 伏, G=1

电压= $(data-32768)*5000.0/32768$ (mV)

±2.5 伏, G=2

电压= $(data-32768)*2500.0/32768$ (mV)

±1.25 伏, G=3

电压= $(data-32768)*1250.0/32768$ (mV)

用户可以调用 MP4222_ADV() 函数来计算电压。

3.3 AD 采样的工作模式

MP4222 具有 2 种采样数据控制模式, 分别对应 MP4222_ADXXX MP4222_FADXXX 函数, 如下:

连续采样模式:

用户可以连续不间断进行采样。启动转换后, 用户可以利用定时器从 AD 数据缓冲存储器中不断读入数据, 这些数据由硬件保证为一个连续的数据流 (按照用户设置的通道转换顺序连续输出), 直到用户测量完毕关闭转换。用户读出数据可以顺序放在一个大数组中或直接实时存盘 (要求磁盘的速度足够快)。

这种数据模式的特点是: 可以连续不间断的长时间采样, 但用户需要不断从缓冲中读出数据以保证硬件缓冲不溢出。

存储采样模式:

用户设置需要采样的总长度（最大 2,000,000 点），启动转换后，硬件自动将采样数据存储存储在 MP4222 的存储器中，直到达到设置采样长度后自动停止转换。这种模式在启动后不需要用户干预，不占用计算机任何资源，更加适合多个 MP4222 同时工作或低速计算机系统，但最大采样长度只有 2000000 点。

这种采样模式的特点：启动转换后不需要软件干预、自动采集。

两种模式的硬件控制方法相同，如下：

MP4222 硬件转换控制模式:

- MP4222 的启动模式为：软件启动/外部触发启动。由 MP4222_AD() 函数的 trsl、trpol 控制
- 转换时钟：内部/外部时钟。由 MP4222_AD() 函数的 clks1、clkpol 控制

当由定时器脉冲或外部时钟有效边沿启动后，AD 开始第一次转换，采样通道为当前通道，并在启动 AD 后自动将输入通道设置为下一个转换通道。通道转换顺序为：从第 N 通道开始顺序转换到第 M 通道结束，然后又重新从 N 到 M 通道，如此循环直到用户结束转换，（N、M 定义同上）。转换数据顺序写入 Dfifo 中。此模式下各个通道之间的时间间隔相等，大小为转换时钟的周期。

每个通道的采样速度 f 如下：

$$f = \text{定时器频率} / \text{转换通道的个数}$$

相同通道号之间的采样数据的时间间隔：

$$T = \text{转换通道的个数} * \text{定时器设定的时间周期}$$

定时器与外部时钟

MP4222 的 AD 启动转换时钟可以软件选择由板上或外部时钟控制，MP4222_AD() 函数的 clks1=0 内部时钟/=1 选择外部时钟。外部时钟的极性可以软件选择为上升或下降边沿启动，clkpol 变量=0 选择上升边沿有效/=1 下降边沿有效。

内部定时器输入基准时钟为 20MHz，周期为 50ns (0.05uS)，位数：16 位。定时器数据由 MP4222_AD() 函数的 tdata 变量设置。定时器为减法计数器，当由用户设置数值 tdata 减到 1 时，发出启动脉冲并自动将定时器数据重新设置为 tdata。

16 位数据取值 (tdata)：25-65535:

转换周期 $T = 0.05 * N$ (uS)，N：设置的 16 位定时器数据 tdata。

转换频率 $f = 20000 / tdata$ (KHz)

最小转换周期为 1.25 μ S (tdata=25)，由此转换周期为：1.25 μ S ~ 320 μ S。

相应总转换频率或速度为：

$f=20000/tdata$ (KHz) tdata: 16 位定时器数据。

外部转换时钟的周期或速度要求同板上定时器，如果在 AD 转换结束前，有外部时钟触发，MP4222 将丢掉这个有效触发时钟。外部时钟输入与开关量输入 DI13 共用。

触发开始采样

MP4222 的启动或触发控制分为二种：软件启动/外部硬件触发，由 MP4222_AD() 函数 trsl 控制，trsl=0：选择软件触发启动/trsl=1：选择外部硬件触发启动。硬件触发的极性可以软件控制，TRPOL=0/TRPOL=1 选择为：上升边沿/下降边沿触发。外部触发输入为数字电平输入。

软件启动：指用户发出启动命令后转换自动开始，直到用户发出停止命令而结束。

硬件触发启动：指用户发出启动命令后，当一个有效的触发到来后 AD 才开始工作，直到用户停止 AD。

转换启动选择可以在触发选择中设置：由软件或外部硬件触发启动整个转换过程，除非用户终止转换，否则将一直转换下去。硬件触发可以在触发极性选择中设置为“上升边沿”或“下降边沿”有效。

一旦启动转换，AD 转换将在板上定时器时钟驱动下按用户设置的起始 (STCH)、终止通道 (ENDCH) 逐一通道顺序、循环转换。

MP4222 的触发电路为 TTL 电平（详见第一章说明），缺省触发电平设置在 2 伏左右。触发输入与开关量输入通道 DI12 共用。

小结：采样模式

1. 采样数据控制模式：连续采样、定长存储采样。
2. 转换触发启动：软件/硬件 (trsl=0/1)。
3. 转换时钟：内部/外部 (clksl=0/1)。
4. 硬件触发极性：上升/下降边沿 (trpol=0/1)。
5. 外部时钟极性：上升/下降边沿 (clkpol=0/1)。
6. 采样通道控制：起始通道/结束通道 (stch/endch)。
7. 定时器设置：tdata 控制转换速度。

相关函数:

连续采样模式:

连续模式函数	存储模式函数	功能
MP4222_AD()	MP4222_FAD()	启动转换
MP4222_ADPoll()		查询硬件缓冲中采样数据长度
MP4222_ADRead()	MP4222_FRead()	读出采样数据 (FRead 返回是否采样结束标志, =0 结束)
MP4222_ADStop()		停止转换

3.4: 开关量部分的原理:

MP4222 开关量提供 16 个输入及 16 个输出接口。所有的输出口在上电初始时为“0”或低电平。输入接口内部上拉到+电源, 如果没有外部输入, 读入数据为 1。

16 位输入 DI0-DI15 由函数 MP4222_DI() 读入。

16 位输出 DO0-DO15 由函数 MP4222_DO() 设置。

输入或输出的 32 位数据的低 16 位 (DI15-DO) 有效, 分别对应输入或输出通道 15-0 号。

MP4222 的 DI0 兼容 5 伏 TTL 电平, 输入可以承受 8 伏电压, 输出高电平通常为 2.8 伏-5 伏 (5 伏 TTL 逻辑通常大于 2.3 伏, 就认为逻辑 1)。

开关量输入 DI12 DI13 DI14 DI15 分别与外触发、AD 外部时钟、计数器 0、计数器 1 等特殊输入共用, 不用为特殊输入时, 可以作为正常开关量输入使用。

3.5: 计数器

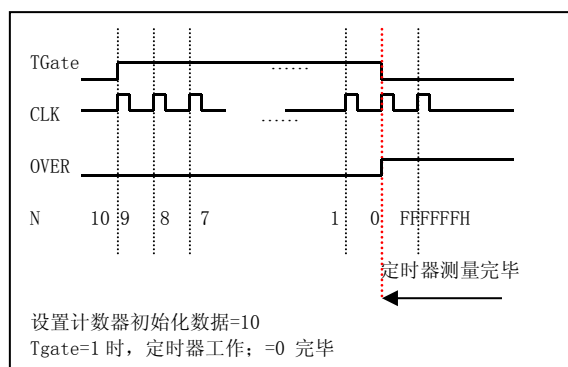
MP4222 具有 2 路 24 位计数器 cnt0、cnt1。工作模式: 减法计数模式, 同时支持测频或 N 个脉冲上升沿间的间隔时间测量。计数器 0 及 1 号输入时钟与开关量输入 DI14、DI15 共用。

当用户利用函数 MP4222_CNT_Run 设置计数器初始化数值、工作模式后，溢出标志位自动清零并开始减法计数，同时内部 24 位定时器开始清零并在第一个有效输入脉冲边沿到来时开始加法计数（计数时钟为 10MHz）。用户可以通过调用 MP4222_CNT_Read() 函数，随时读入 24 位计数器数值 cdata 及定时器数值 tdata，如果计数器溢出（从 0 减到 FFFFFFFH），返回数值=1，硬件会自动保留溢出状态及此时的定时器数据直到用户重新设置计数器。

测量信号的频率或脉冲间隔，例如：如果初始化计数器数值=2，那末定时器的时间表示两个上升脉冲之间的宽度或一个波形的宽度，通过宽度，用户可以方便的计算出信号的频率，**注意必须等到计数器完全计数完毕后，读出的时间才是有效时间**（读出函数的返回数值=1 时）。当然，用户也可以将计数器初始化数值设置为如何大于 2 的 24 位数据，来测量 N 个边沿之间的时间。但需要注意，定时器的最大定时长度为 1600ms，数值=FFFFFFH(即：16777215)，如果读出数据等于 FFFFFFFH，表示定时器已经超量程。

脉冲宽度= $tdata * 0.1\mu S$ tdata: 定时器数值

计数器的波形示意图：



注：

1. TGate: 定时器开始工作标志
2. CLK: 计数时钟或脉冲输入
3. OVER: 溢出标志
4. N: 计数器数值

小结：

1. 计数器为 24 位可预置减法计数器
2. 当计数器归零时自动保持定时器数据
3. 可以测量 N 个脉冲上升边沿的总时间，等效 N-1 个脉冲的时间宽度
4. 利用脉冲间隔测量功能，可以快速测量脉冲的间隔、频率。

3.6: 冲输出原理

M MP4222 具有 2 路独立 20 位脉冲输出发生器 tout0、tout1，时钟频率为 10MHz，分辨率 100nS。可以精确发生 PWM 方波、单次正脉冲及可编程脉冲个数方波，脉冲周期为 200nS – 1600mS。

脉冲调到 0、1 号输出与开关量输出 D014、D015 共用。当用户启动脉冲输出时，对应通道的开关量输出自动转换到相应通道的脉冲输出；当用户利用 MP4222_Pend 结束输出操作时，对应的输出口自动转换到相应开关量输出通道。

工作模式：

模式 0：PWM 模式。宽度可编程方波输出。用户可以定义输出方波的周期及占空比。

模式 1：SP 模式。单次正脉冲输出。

模式 2：PLP 模式。可编程脉冲个数输出。用户可以控制发出 N 个用户定义周期的方波。数量 N 及方波的周期或速度为 20 位可编程。

相关操作函数：

- ❑ MP4222_PRUN：启动脉冲输出
- ❑ MP4222_PState：查询输出是否完成（SP 模式下：单次脉冲输出是否结束 / PLP 模式下：用户定义的输出脉冲个数是否都输出完毕）
- ❑ MP4222_Pend：停止脉冲输出，同时将对应的输出端口恢复为 D0 输出。
- ❑ MP4222_PSetData：重置脉冲输出数据，主要用于 PWM 模式，使用户可以连续改变脉冲的频率、占空比。

PWM 方波输出

用户通过 MP4222_PRUN(HANDLE hDevice, int32 pch, int32 pmode, int32 pdata0, int32 pdata1) 函数设置模式 pmode=0，并初始化数据 pdata0、pdata1 后，板卡开始连续输出方波。方波的周期由 pdata0 控制，方波的高电平宽度由 pdata1 控制。pdata0 为 20 位数据，范围：2 - FFFFFH，控制方波的周期，周期=pdata0 * 0.1uS。pdata1 20 位数据，范围：1 - FFFFFH，控制方波的正脉冲宽度，宽度=pdata1 * 0.1uS，pdata1 必须小于或等于 pdata0。例：pdata0=100, pdata1=30 则输出一个周期=10uS，正脉冲宽度=3uS 的方波。

在输出过程中如果需要改变输出参数，可以调用 MP4222_PsetData() 函数设置，**新设置的参数只有在在一个完整脉冲输出完毕后才起作用。**

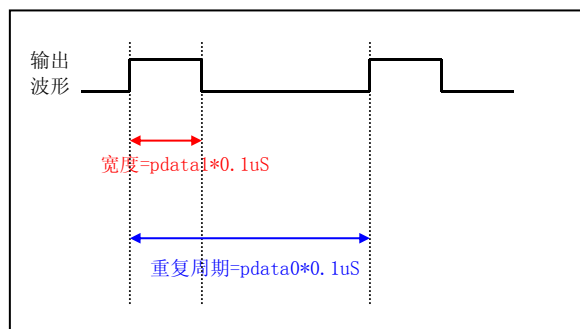
提示：

1. 方波输出的频率 = 10MHz / pdata0。

2. 如果 $pdata1/pdata0=1/2$ 则输出标准方波。

MP4222 的方波输出频率范围为：5MHz - 10Hz。

输出示意图：

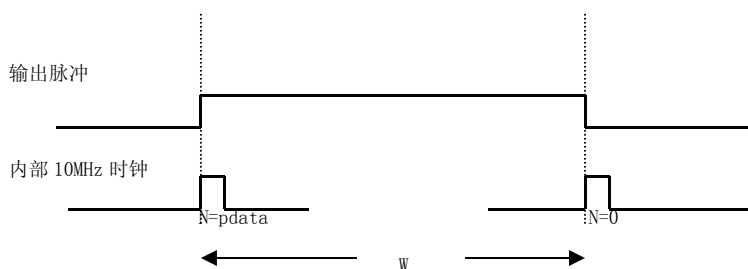


PWM 输出可以应用于：

1. 方波输出。
2. 灯光或电机控制，通过输出固定频率的信号（pdata0 固定），并设置占空比（调节 pdata1）来控制亮度或转速，等效一个 DA 转换器。
3. 电压信号的远程传输，因为数字信号通过隔离或差分发送器（RS485 或 422 发送器）可以传输很远，可以通过固定周期而调节脉冲的宽度来表示电压信号的幅度，最大分辨率可以到 20 位。
4. DA 转换器，用固定周期 PWM 脉冲，调节输出宽度，并控制一个电压积分电路，可以直接控制输出电压。

单次脉冲输出（SP 模式，软件触发单稳态输出）

用户通过 `MP4222_PRun(HANDLE hDevice, int32 pch, int32 pmode, int32 pdata0, int32 pdata1)` 函数设置模式 $pmode=1$ ，在内部时钟（频率为 10MHz）的第一个上升边沿输出由 0 变为 1，直到 $pdata0$ 个脉冲后，输出变为 0。 $pdata0$ 为用户设置的 20 位数据，范围 1-FFFFFH。输出脉冲的时间宽度为： $pdata0*0.1\mu s$ 。用户可以以 100nS 为单位设置输出脉冲的宽度，输出脉冲宽度范围：100nS - 100mS。 $pdata1$ 在 sp 模式中无效。用户可以通过 `MP4222_PState(HANDLE hDevice, int32 pch)` 函数的返回值判断输出是否结束，返回 0 表示输出结束。



$$W=pdata * 0.1 \text{ (uS)}$$

注：N：内部计数器数值。

单次输出可以应用于：

1. 控制电磁阀门、快门的一次性开启时间。
2. 输出单脉冲。
3. 输出触发信号。

PLP 模式：个数可编程脉冲输出

用户通过 MP4222_PRUN(HANDLE hDevice, int32 pch, int32 pmode, int32 pdata0, int32 pdata1) 函数设置模式 pmode=2, 开始输出 pdata1 个方波, 输出完 pdata1 个方波后自动停止。方波的周期由 pdata0 控制, pdata0 范围: 4 - FFFFFFFH, 输出方波的个数有 pdata1 控制, 范围: 1 - FFFFFFFH。用户可以通过 MP4222_PState(HANDLE hDevice, int32 pch) 函数的返回值判断输出是否结束, 返回 0 表示输出结束。

提示:

1. 方波输出的时间周期= $pdata * 0.1 \text{ (uS)}$
2. 对应频率 = $10\text{MHz} / pdata$
3. MP4222 的方波输出频率范围为: 5MHz - 10Hz。

应用:

1. 数据采集时钟信号发生。
2. 步进电机控制。

四、安装与连接

4.1 安装

关于 USB

用户的计算机必须支持 USB2.0，如果没有 USB2.0 接口，用户可以通过安装扩展卡来实现，具体的价格请咨询您的经销商。

一些老笔记本计算机的供电能力有限，如果 MP4222 因此不能正常工作，请使用外接 5 伏电源（**注意外部供电电压为 5 伏±5%**）。外部供电为标准小口 USB，电压 5 伏。

如果用户内嵌 MP4222，供电可以利用 PW13 位跳线器供电，PW1 的 1、3 脚对应+5 伏、地线。

用户在应用时请尽量采用随机配备的原装电缆。如果需要单独配备电缆，请按照以下原则配备：

- 电缆要选择粗的电缆以满足供电要求。
- 电缆必须满足 USB2.0 480Mbit/s 传输速度的要求。

如果用户希望将 MP4222 放置在远离计算器的地方，可以利用 USB2.0 延长线来解决，一条延长线可以延长 5 米，最多可以延长 20 米（或以实验结果确定）。

USB 支持即插即用，用户可以在开机状态连接或拔掉 MP4222 与 PC 机的连接。一些计算机由于兼容的原因，可能在连接 MP4222 模块启动计算机时出现“蓝屏”，请在计算机启动后再连接 MP4222 或利用 PCI PCIE 扩展 USB 插卡。

USB 支持多个外部设备同时工作，但用户必须保证 MP4222 占据主要的通讯信号带宽。

4.2 连接注意事项

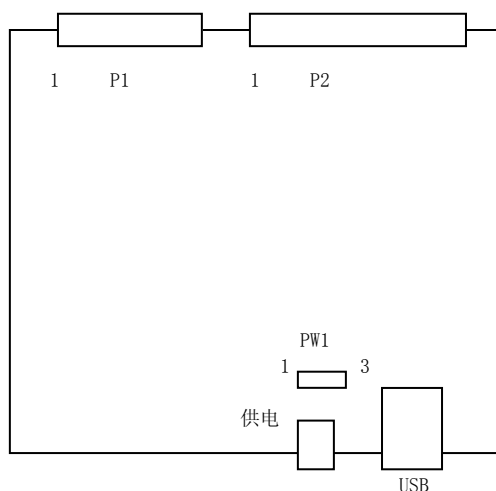
■ 模拟输入：

1. 输入连接电缆必须用屏蔽电缆，电缆的屏蔽外层最好只在一端连接到地线上。
2. 模拟信号的地线应该连接到前端的模拟输出的地线上，不能与数字地线混合。如果需要混合数字、模拟地线，可以将数字地线连接到前端的电源地线上。
3. 如果前端信号干扰较大，如电力信号采集应用时，最好将 PC 机的外壳与前端的地线单独连接。这样可以避免干扰、高压烧毁 MP4222。
4. 对于高精度采样，要求前端设备输出有尽量低的输出阻抗及电流驱动能力。
5. 建议用户的模拟输出设备应该具有低输出阻抗及高速跟踪信号的能力，建议运用带宽在 5MHz、转换速度大于 10V/uS 的运算放大器。也可以选用 AC112 缓冲放大板。

■ 开关量：

1. 开关量输入电平不能低于-0.3V 或高于+5V。
2. 输出不要对地线、电源短路。
3. 输出如果需要驱动大功率设备，为防止干扰应该选用 AC145、AC140 端子板，将输出与设备隔离。

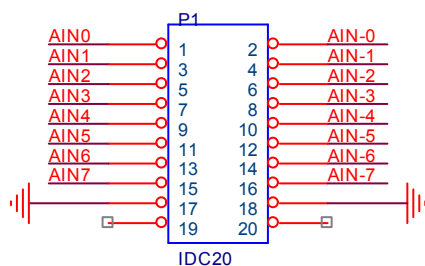
4.3 连接器插座定义

MP4222 插座位置示意图：

MP4222 有二个扁平电缆连接器：P1、P2。

- P1:20 脚扁平电缆插座对应模拟 AD 输入、DA 输出。
- P2:40 脚扁平电缆插座对应 32 路开关量。

P1 定义:

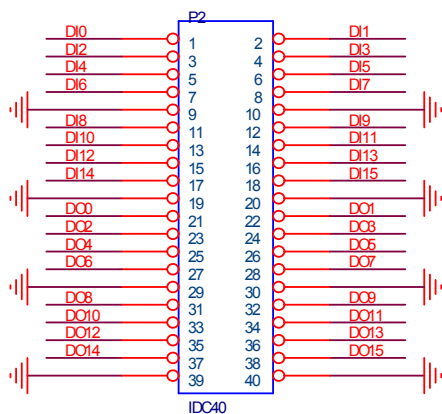


说明:

- AIN0 - AIN7 对应 AD 的 8 路差分 “+” 输入 0-7 号。
- AIN-0 - AIN-7 对应 AD 的 8 路差分 “-” 输入 0-7 号。
- 脚 17、18 模拟输入 AD 的地线。

差分输入的连接方法见本章的：“4.5：常用信号的连接、处理”部分。

P2 定义:



说明:

- DI0-DI15 对应 16 路开关量输入 0-15 号。
- D00-D015 对应 16 路开关量输出 0-15 号。
- 脚 9、10、19、20、29、30、39、40 地线。

复合 IO 脚

- DI12: 同时作为外部触发输入。不用时为 DI12。
- DI13: 同时作为外部时钟输入。不用时为 DI13。
- DI14: 同时作为计数器通道 0 的计数时钟输入。不用时为 DI14。
- DI15: 同时作为计数器通道 1 的计数时钟输入。不用时为 DI15。
- D014: 同时作为脉冲通道 0 输出。不用时为 D014。
- D015: 同时作为脉冲通道 1 输出。不用时为 D015。

开关量复合用脚

脉冲功能输入、输出交与开关量的输入、输出共用连接，因此如果使用相应的脉冲计数或脉冲输出，对应占用的引脚不能做为开关量使用。

■ 触发及外部时钟：

通道	输入
AD 触发	DI12
AD 外部时钟	DI13

■ 计数器

计数器输入与开关量输入对应管脚：

通道	时钟输入
0	DI14
1	DI15

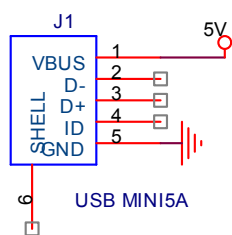
■ 脉冲输出

脉冲输出与开关量输出对应管脚：

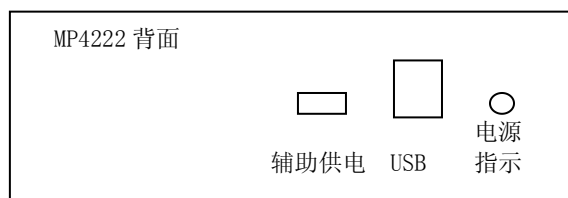
通道	脉冲输出
0	D014
1	D015

辅助电源插座：

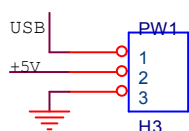
5 芯标准 mini USB 接口， 只用了电源供电部分。



如果 USB 供电不足，可以通过一条 mini USB 线连接辅助供电口与主机 USB 接口提供额外的供电。



内部电源选择



PW1 定义

3 位跳线器 PW1 选择电源模式，如果用户希望采用自己的 5 伏电源供电，请：

1. 拔掉 PW1 的跳线器
2. 电源由 2、3 脚输入。2 脚为+5V、3 脚为地线。

通常 USB 供电已经能够满足要求，不需要外部供电。

4.4: 配套端子板

MP4222 可以配接如下端子板：

ACS424: 16 路 BNC 插座 (Q6) 端子板。

ACS420: 螺丝端子通用转接板，支持 P1、P2 电缆共 80 线。

AC112: 8 路高速信号放大板。放大倍率 1-10 倍。输入 BNC 头。

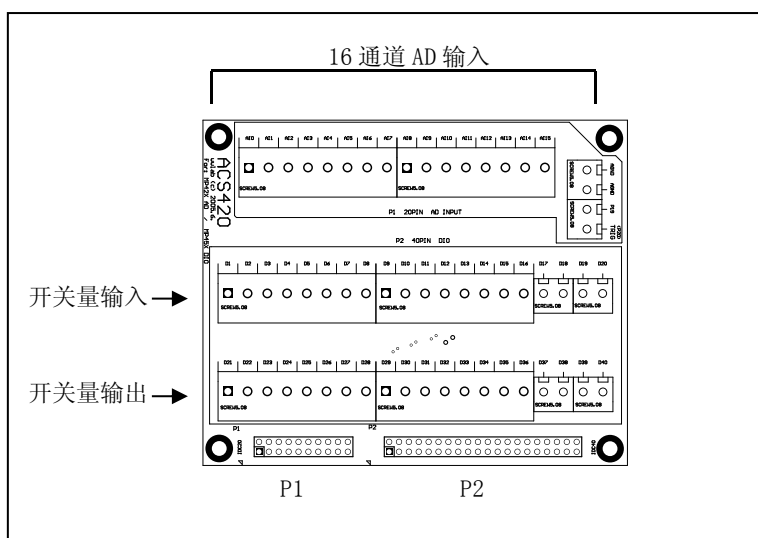
AC145N: 隔离 16 入/16 出端子板。输入电压 0-24 伏/输出：共阴输出，驱动电流 100 毫安，可以直接输出共地电压。需要配接外部电源，输出电压=外部电源电压。

AC140: 隔离 8 入/8 路继电器端子板。输入电压 0-24 伏。输出：8 路继电器，12 伏供电，触点电流 3 安。

AC140E: 隔离 16 入/16 路继电器端子板。输入电压 0-24 伏。输出: 16 路继电器

ACS420 说明

示意图:



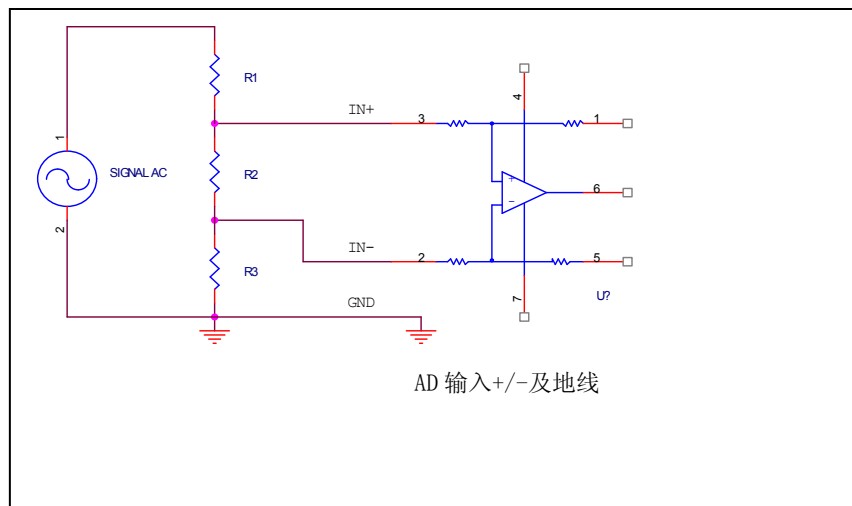
- P1 P2 口分别通过扁平电缆连接 MP4222
- 16 路螺丝端子连接 AD 输入。
- 40 个螺丝端子连接 P2 开关量输入、输出。
- 板卡尺寸与固定螺钉位置与 MP4222 相同。

4.5: 常用信号的连接、处理

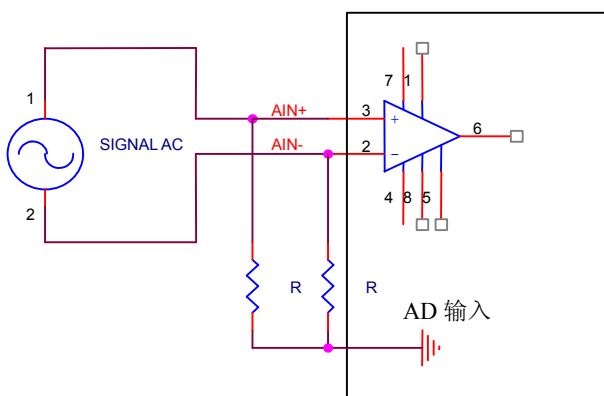
差分信号采集

某些情况下, 输出信号为+、-、GND, 输出是浮置在地线上, 例如: 电桥信号、测量若干串联电阻中的一个电阻两端的信号等, 这时候需要差分输入。

例如：利用差分输入测量若干串联电阻中的一个电阻两端的信号

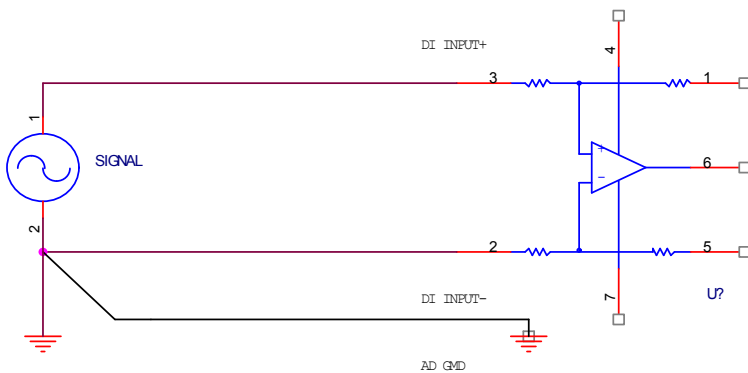


利用差分输入测量无源信号输出或隔离信号输出



R 的取值范围：1K-10K 欧姆。

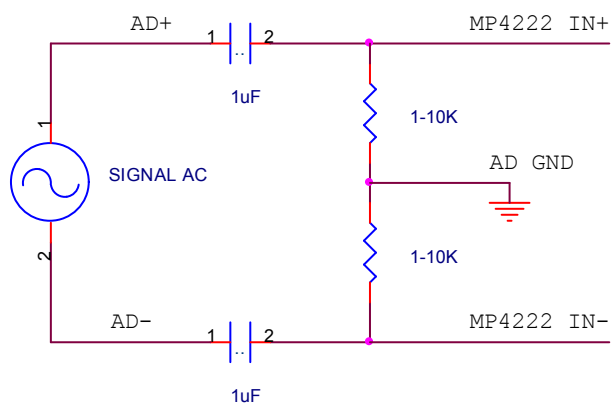
利用差分输入测量远距离单端信号传输



如果现场的连接线很长，可以利用上述方法利用输入差分放大器的共模抑制特性来减小传输中的干扰。

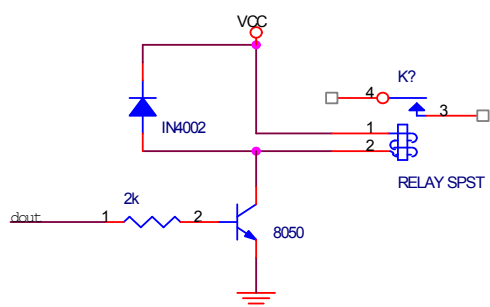
差分输入的“+”连接到信号输出，差分输入的“-”连接到信号输出的地线，同时利用额外的一条连线连接AD与信号输出的地线。由于差分模式采集+/-输入的低压差，而干扰是同时加载到+/-输入的共模信号，能够被一定程度抵消掉。

加入隔离电容采集交流信号

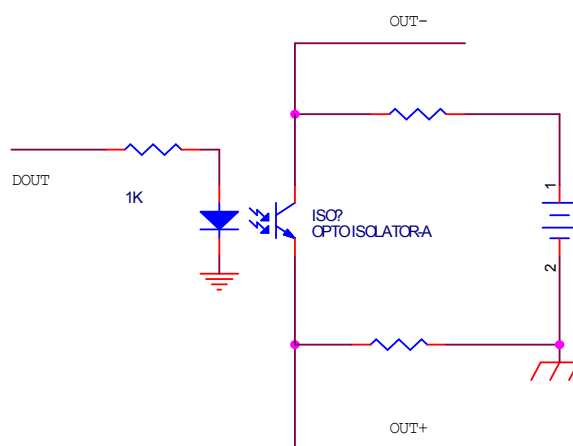


图中可以看出，如果利用差分输入的特性，交流输入可以做到信号隔离（输入电容的耐压 $>500V$ AC，如果耐压不足，必须将AD的地线与前端输出的地线连接）。

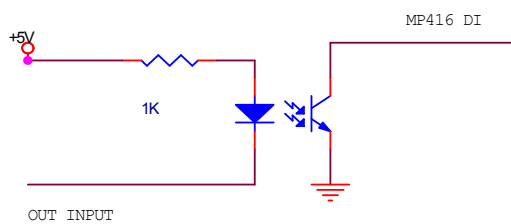
利用开关量输出驱动继电器



开关量输出驱动光耦



开关量输入隔离



因为 MP4222 的 DI 输入内部有上拉电阻，因此光耦的输出不用加入上拉电阻。

五、软件

本章介绍驱动的安装、动态链接库函数使用方法以及针对 MP4222 的软件开发指导。请用户在编程前，仔细阅读本手册，了解相关信息。

由于软件可能不断更新，请用户察看光盘中的提示。测试软件及其他软件的说明见光盘目录：
\USB\MP4222。

5.1: 软件安装与说明

软件说明

MP4222附带光盘中，提供如下内容：

1. 说明书。
 2. 驱动程序，支持win98/win2000/winXP/win7 32位操作系统。
 3. Visual C++、MFC、Visual Basic编程实例。
 4. MP4222测试程序。
 5. labview例子
- 在光盘的\USB\MP4222\DRIVER目录中包含：MP4222.inf、MP4222.sys、MP4222.dll、MP4222.LIB 4个文件。
- ◇ MP4222.inf 驱动安装文件。
 - ◇ MP4222.sys 驱动程序。
 - ◇ MP4222.dll 动态链接库。
 - ◇ MP4222.LIB MS VC的库文件。
- 在光盘的\USB\MP4222\VC目录中包含：
- ◇ VC的编程例子
 - ◇ 编程需要的include、LIB文件（MP4222.h和MP4222.LIB）。
- 在光盘的\USB\MP4222\MFC目录中包含：
- ◇ MFC的编程例子
 - ◇ 编程需要的include、lib文件（MP4222.h和MP4222.LIB）。
- 在光盘的\USB\MP4222\VB目录中包含：

- ◇ VB的编程例子
 - ◇ VB编程需要的声明模块程序MP4222. bas。
- MP4222. EXE: 测试程序。

驱动安装

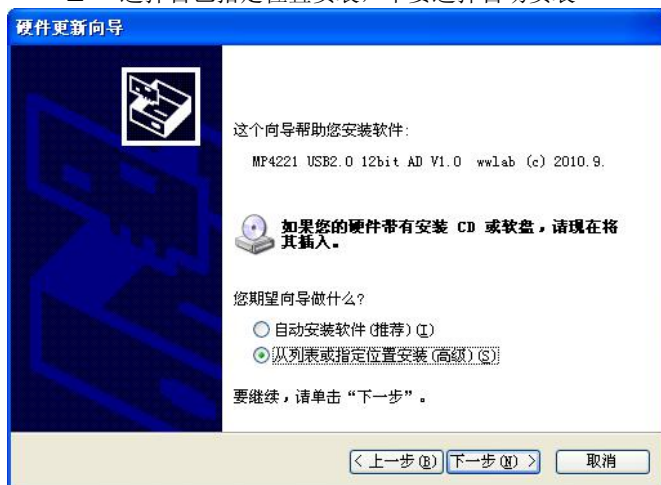
安装方法:

9. 将MP4222插入一个USB插槽，如果有多个MP4222模块，请每一次安装一个MP4222模块。第一次安装的设备号为“0”，第二次安装的设备号为“1”，依次类推。
10. Windows将会显示找到新硬件，可按找到新硬件向导进行下一步
11. 选择搜索适用我的设备的驱动程序，下一步；
12. 选择驱动所在目录，进行安装。（目录：\USB\MP4222\driver）
13. 按找到新硬件向导的提示进行下一步；
14. Windows将显示完成添加/删除硬件向导，单击完成即可完成安装过程。
15. 完成后如果安装第二个MP4222，插入第二块MP4222模块，重复上述安装过程。

注：这里的图式为MP4221，用户可以等效看为MP4222。

备注：安装注意事项

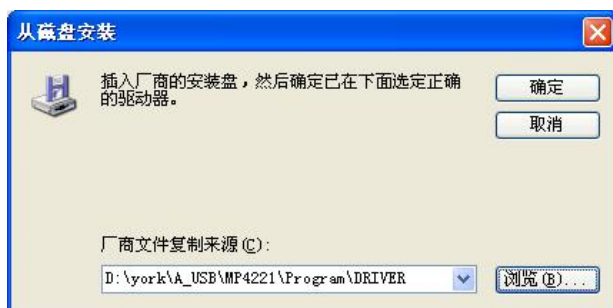
- 选择自己指定位置安装，不要选择自动安装



- 选择不要搜索，自己指定安装目录



- 指定你的驱动程序所在的具体位置的. inf文件



- 系统自动显示出安装的硬件名称



然后选择下一步.....下一步，驱动程序安装完毕。安装过程中不要理会数字签名的问题，这是因为驱动程序没有在微软注册过的原因。

安装后，程序自动将 MP4222.dll 动态链接库程序拷贝到 windows 系统的 system32 目录中，用户用也可以自己将 DLL 拷贝到当前工作目录中。

驱动安装完毕后在\控制面板\系统\设备管理中的 USB 项目下可以找到 MP4222。

1. 如果需要更新设备驱动，请在硬件设备管理目录下选择MP4222 -> 按鼠标右键选择属性 -> 选择驱动程序 -> 选择重新安装驱动程序。
2. 当 Visual C++/Visual Basic 例程从 CD-ROM 复制到硬盘时，属性仍将保持为只读属性，这将影响用户调试程序。请**将属性改为文档属性**，这样就可以进行正常的编译、调试工作了。

5.2: 接口函数说明

本卡以 DLL-动态链接库的方式封装了用户在 win98/win2000/winXP 环境下编程需要的函数。动态链接库可以被 windows 环境下的多数编程语言调用，用户只要正确使用调用格式就能正确调用函数。本手册只提供了 VC、VB 的调用例子，有关其他语言调用的方法，用户可以参考其他书籍或直接在網上查找。

注：所有的函数原型可以在\USB\MP4222\DRIVER\MP4222.H 文件中获得。

函数简介

MP4222 的函数分类：

1. 设备操作函数。用于初始化打开一个有效设备并获得操作句柄；关闭一个设备。
2. 连续采集 AD 函数。控制采集及校正。
3. 存储采集 AD 函数。控制采集及校正。
4. 开关量函数：控制开关量输入、输出。
5. 计数器函数：操作计数器启动、读数。
6. 脉冲函数：控制脉冲输出启动、查询、关闭。
7. DA 函数：控制 DA 模式及输出。
8. EEPROM 函数：用户可以在 MP4222 的内部“非易失存储器”中记录 32byte 的数据，并且数据不会因为断电丢失。

MP4222 通过不同的句柄来区分多个 MP4222 或其他 USB 设备，应用 MP4222_OpenDevice 可以得到一个唯一的句柄。如果有多个 MP4222 同时工作，建议通过设置 EEPROM 数据来区分用户自己的设备号，例如：0 号 MP4222 可以写入“0”，这样用户在打开设备后，读入 EEPROM 数据，就可以知道此设备的句柄对应 0 号 MP4222。

函数中的变量

- `__int32`: 32 位有符号数
- `HANDLE`: 操作句柄, 等效一个 32 位有符号数
- `Unsigned char`: 无符号 8 位整数
- `Double`: 双精度浮点数
- `*变量`: 指向变量的指针或数组。

设备操作函数

□ 打开一个 MP4222 设备

函数: `HANDLE MP4222_OpenDevice(__int32 dev_num)`

参数:

- ◇ `dev_num`: 入口参数, MP4222 设备号, =0、1、2..., 表示第一个、第二个 MP4222 模块。设备号的定义参考驱动安装部分。
- ◇ 函数返回值: 卡的操作句柄。

注: VC 中如果句柄不等于 `INVALID_HANDLE_VALUE`, 表示正确。VB 中如果句柄不等于 `&HFFFFFFF`, 正确。

□ 关闭一个 MP4222 设备

函数: `__int32 MP4222_CloseDevice(HANDLE hDevice)`

功能: 关闭以 `hDevice` 打开的 MP4222 卡。

参数:

- ◇ `hDevice`: 入口参数, 卡的操作句柄。
- ◇ 函数返回数值: 0: 成功 / -1: 失败。

连续采集 AD 操作函数

概况

函数	功能
<code>MP4222_CAL()</code>	校正操作
<code>MP4222_AD()</code>	启动 AD 采样, 设置采样参数
<code>MP4222_ADPoll()</code>	查询 MP4222 内部的可以读出数据的长度
<code>MP4222_ADRead()</code>	读入数据 (长度必须小于已经得到的采样数据长度)
<code>MP4222_ADStop()</code>	停止 AD 连续采样
<code>MP4222_ADV</code>	AD 电压计算

MP4222 采样支持连续不间断采样, 用户利用 MP4222_AD() 设置参数并启动转换后, 利用 MP4222_ADPoll() 函数来获得 MP4222 已经暂存采样数据的长度, 来决定是读入操作的最大长度, 利用 MP4222_ADRead() 函数不断回读采样数据直到完成采样任务, 任务结束后调用 MP4222_ADStop 关闭内部采样过程及停止 MP4222 硬件采样功能。在上电后或长时间工作后, 请调用一次 MP4222_CAL() AD 校正操作。

由于 MP4222 的硬件缓冲为 FIFO 模式, 因此用户读入数据后, 此数据自动从缓冲内部清除。缓冲容量为 4000K 采样点, 可以支持最大 2 秒的数据缓冲。建议用户在定时器中操作 MP4222_Poll()、MP4222_Read() 函数, 定时器速度可以设置在 50-100 毫秒。

流程图

主程序

1. MP4222_CAL()
2. 设置数据存储器 data
3. 数据读入总长度 sam1=0
4. 启动转换
5. 设置定时器

定时器

1. 利用 MP4222_ADPOLL 查询是否有足够数据
2. 如果有足够数据, 读入数据到临时数组 tmpdata 中, 长度: tmp1
3. 将 tmpdata 数据写入从 data[sam1]单元开始位置的存储器中, 写入长度=tmp1
4. sam1=sam1 + tmp1
5. 如果 sam1 达到用户采集长度要求, 停止采集; 否则等待下一次进入定时器

连续采样函数说明

□ MP4222_CAL() AD 校正操作。

功能: 启动 AD 自动校正操作。在开机时, 至少要进行一次此操作。

函数: __int32 MP4222_CAL(HANDLE hDevice)

✧ hDevice: 入口参数, 卡的操作句柄。

✧ 函数返回: 出口参数: =0 操作成功/其他失败。

□ MP4222_AD() 设置采样参数并启动 AD 采样

功能: 设置所有与采样相关的参数并启动采样过程。

函数: __int32 MP4222_AD(HANDLE hDevice,

```
__int32 stch, __int32 endch, __int32 gain, __int32 sisi,
__int32 trsl, __int32 trpol, __int32 clksl, __int32 clkpol, __int32 tdata)
```

- ✧ hDevice: 入口参数, 卡的操作句柄。
- ✧ stch: 入口参数, =0-7 设置采样的起始通道号码。
- ✧ endch: 入口参数, =0-7 设置采样的停止通道号码。
- ✧ gain: 设置 AD 的输入量程 G。=0-3 对应选择所有的输入范围见下面表格。
- ✧ sisi: =0, MP4222 不用这个参数, **必须设置为 0**。
- ✧ trsl: 设置触发模式。=0 设置软件启动一次采样过程/=1: 设置外部触发启动一次采样过程。
- ✧ trpol: 设置触发输入极性。=0 设置外部触发上升边沿有效/=1 设置外部触发下降边沿有效。
- ✧ clksl: 设置时钟模式。=0 设置 AD 启动利用内部时钟/=1: 外部时钟。
- ✧ clkpol: 设置时钟输入极性。=0 设置上升边沿有效/=1 设置下降边沿有效。
- ✧ tdata: 设置采样频率 (25~65535)。总采样速度=20000/tdata(KHz), AD 启动周期=0.05 * tdata (uS)。详细见第二章说明。
- ✧ 函数返回: 出口参数: =0 操作成功/其他失败。

注: Gain 的定义

gain	输入范围
0	±10V
1	±5V
2	±2.5V
3	±1.25V

□ MP4222_ADRead() 回读采样数据

功能: 读入**用户设置长度**的采样数据, 如果 MP4222 没有足够的数读回, 函数返回实际读出长度为“0”。采样数据的排列按用户设置的起始与停止通道顺序循环排列, 例如: 起始通道=0, 结束通道=2, 读出数据排列按如下顺序:

```
ch0 ch1 ch2  ch0  ch1 ch2  ..... ch0 ch1 ch2
```

详细的说明请参考第二章说明。

用户在编程时, 最好将 MP4222_ADRead() 函数放置在定时器中, 每隔一段时间进行一次读入操作, 最长延时不要超过 0.5 秒。每次用户设置的读出长度必须足够, 否则长时间运行会产生数据溢出。每次可以读出的最大长度也可以依靠 MP4222_ADPoll 函数得到, 用户只要设置 MP4222_ADRead 的读出长度小于 MP4222_ADPoll 函数得到的长度就可以了。

函数: __int32 MP4222_ADRead(HANDLE hDevice, __int32 rdlen, __int32 *rdata)

- ✧ hDevice: 入口参数, 卡的操作句柄。
- ✧ rdlen: 用户设置的回读数据长度。**(注意: 长度不能大于利用 MP4222_ADPoll() 函数返回的长度, 同时长度不能大于 500,000)**

- ✧ *rdata: 指向存储回读数据数组(32位有符号数)的指针, 要求数组容量大于 rdlen。用户获取数据及长度后, 必须在下次调用前将数据存储到另外的数组或硬盘中, 以免下次调用覆盖了以前的数据。
- ✧ 函数返回: 如果小于 0 表示 MP4222 的硬件或软件缓冲溢出错误(此时以后的采样点均无效)。其他表示用户实际读入数据的长度。

注意: MP4222 读入的 32 位 AD 数据的低 12 位为真实数据

□ MP4222_ADPO11() 查询硬件缓冲中的采样数据长度

功能: 查询 AD 已经转换完毕的数据长度。

函数: __int32 MP4222_ADPO11(HANDLE hDevice)

- ✧ hDevice: 入口参数, 卡的操作句柄。
- ✧ 函数返回: 如果小于 0 表示 MP4222 的硬件或软件缓冲溢出错误(此时以后的采样点均无效)。其他表示硬件缓冲中可以读取的数据长度。

□ MP4222_ADStop 停止采样

功能: 强行停止采样过程并复位硬件采样电路。用于用户已经完成本次采样任务。

函数: __int32 MP4222_StopAD(HANDLE hDevice)

- ✧ hDevice: 入口参数, 卡的操作句柄。
- ✧ 函数返回: =0 表示操作有效。

转换电压计算:

注: 用户可以用函数 double MP4222_ADV(__int32 adg, __int32 addata) 计算电压

1. 返回电压, 单位 mV
2. adg: 用户采样时设置的 gain 的数值
3. addata: 需要计算的 16 位 AD 数据

附注:

- AD 采样数值到电压的转换。32 位数据的低 16 位有效。
- AD 输入有 4 档量程, 由软件控制, 分别对应增益选择: 0-3 号。

数据格式: 32 位读出数据的低 16 位 (D15-D0) 定义如下:

数据格式: 16 位读出数据 (D15-D0) 定义如下:

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
AD15	AD14	AD13	AD12	AD11	AD10	AD9	AD8

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
AD7	AD6	AD5	AD4	AD3	AD2	AD1	AD0

- D16-D0: 32 位读入数据的低 16 位数据的从高到低位。
- AD15-AD0: 16 位采样数据, (MSB - LSB)。

16 位转换数据范围为 0-65535, 采用偏移码输出, 数据 \geq 32768 为“正电压”、数据 $<$ 32768 为“负电压”。
0 为负最大、65535 为正最大。

对应电压计算:

设: data 为 16 位转换结果

± 10 伏, G=0

电压 = $(data - 32768) * 10000.0 / 32768$ (mV)

± 5 伏, G=1

电压 = $(data - 32768) * 5000.0 / 32768$ (mV)

± 2.5 伏, G=2

电压 = $(data - 32768) * 2500.0 / 32768$ (mV)

± 1.25 伏, G=3

电压 = $(data - 32768) * 1250.0 / 32768$ (mV)

存储采集 AD 操作函数

概况

函数	功能
MP4222_CAL()	校正操作
MP4222_FAD()	启动 AD 采样, 设置采样参数
MP4222_FRead()	读入数据 (长度必须小于已经得到的采样数据长度)
MP4222_ADV	AD 电压计算

MP4222 存储采样模式中, 用户利用 MP4222_FAD() 设置参数并启动转换后, 利用 MP4222_FREAD() 函数来判断是否采样完毕并回读数据, 如果采样结束, 返回数据=0, 并且软件自动将采样数据存放在用户指定的数组中。在上电后或长时间工作后, 请调用一次 MP4222_CAL() AD 校正操作。

流程图

主程序

1. MP4222_CAL()
2. 设置数据存储器 data，容量必须大于读出数据的长度
3. 启动转换
4. 设置定时器

定时器

1. saml=MP4222_ADREAD 查询
2. saml!=0，表示采样正在进行中，退出定时器查询。
3. saml=0，采集结束，数据存放在 adta 中

存储定长采样函数说明

□ MP4222_CAL() AD 校正操作。

功能: 启动 AD 自动校正操作。在开机时，至少要进行一次此操作。

函数: `__int32 MP4222_CAL(HANDLE hDevice)`

- ✧ hDevice: 入口参数，卡的操作句柄。
- ✧ 函数返回: 出口参数: =0 操作成功/其他失败。

□ MP4222_FAD() 设置采样参数并启动 AD 采样

功能: 设置所有与采样相关的参数并启动采样过程。

函数: `__int32 MP4222_FAD(HANDLE hDevice, __int32 stch, __int32 endch, __int32 gain, __int32 sisi, __int32 trsl, __int32 trpol, __int32 clksl, __int32 clkpol, __int32 tdata, __int32 saml)`

- ✧ hDevice: 入口参数，卡的操作句柄。
- ✧ stch: 入口参数，=0-7 设置采样的起始通道号码。
- ✧ endch: 入口参数，=0-7 设置采样的停止通道号码。
- ✧ gain: 设置 AD 的输入量程 G。=0-2 对应选择所有的输入范围见下面表格。
- ✧ sisi: =0，MP4222 不用这个参数，**必须设置为 0**。
- ✧ trsl: 设置触发模式。=0 设置软件启动一次采样过程/=1: 设置外部触发启动一次采样过程。
- ✧ trpol: 设置触发输入极性。=0 设置外部触发上升边沿有效/=1 设置外部触发下降边沿有效。
- ✧ clksl: 设置时钟模式。=0 设置 AD 启动利用内部时钟/=1: 外部时钟。
- ✧ clkpol: 设置时钟输入极性。=0 设置上升边沿有效/=1 设置下降边沿有效。
- ✧ tdata: 设置采样频率 (25~65535)。采样频率=20000/tdata(KHz)，AD 启动周期=0.05 * tdata (uS)。

详细见第二章说明。

- ✧ saml: 设置采样长度 (1~2, 000, 000)。
- ✧ 函数返回: 出口参数: =0 操作成功/其他失败。

注: Gain 的定义

gain	输入范围
0	±10V
1	±5V
2	±2.5V
3	±1.25V

□ MP4222_FRead() 回读采样数据

功能: 判断采样是否结束, 如果结束读入用户设置长度的采样数据。函数返回长度“大于或等于 1”表示采样正在进行, 返回等于“0”表示结束并将用户数据回读入用户定义的数组中。注意: 为了区别状态, 即使 AD 没有启动采样, 返回数值也=1, 用户可以利用 FREAD 在慢速采集状态下查询已经采集到多少数据。

采样数据的排列按用户设置的起始与停止通道顺序循环排列, 例如: 起始通道=0, 结束通道=2, 读出数据排列按如下顺序:

ch0 ch1 ch2 ch0 ch1 ch2 ch0 ch1 ch2

详细的说明请参考第二章说明。用户在编程时, 最好将 MP4222_FRead() 函数放置在定时器中, 每隔一段时间进行一次读入操作, 直到采样结束。

函数: __int32 MP4222_FRead(HANDLE hDevice, __int32 *rdata)

- ✧ hDevice: 入口参数, 卡的操作句柄。
- ✧ *rdata: 指向存储回读数据数组 (32 位有符号数) 的指针, 要求数组容量大于 FAD 中设置的采样长度 saml。
- ✧ 函数返回数值:
 1. <0 表示 MP4222 的硬件或软件缓冲溢出错误 (此时以后的采样点均无效);
 2. 其他表示采样忙, 返回数值为 AD 已经存储器中已经采集数据的个数 (个数为 0 或 1 时, 返回数据=1);
 3. =0 表示采样结束并已经将数据放入 rdata 中, 长度=saml。

注意: MP4222 读入的 32 位 AD 数据的低 16 位为真实数据

转换电压计算:

注: 用户可以用函数 double MP4222_ADV(__int32 adg, __int32 addata) 计算电压

1. 返回电压, 单位 mV
2. adg: 用户采样时设置的 gain 的数值
3. addata: 需要计算的 16 位 AD 数据

附注:

- AD 采样数值到电压的转换。32 位数据的低 16 位有效。

数据格式：16 位读出数据（D15-D0）定义如下：

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8
AD15	AD14	AD13	AD12	AD11	AD10	AD9	AD8

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
AD7	AD6	AD5	AD4	AD3	AD2	AD1	AD0

- D16-D0：32 位读入数据的低 16 位数据的从高到低位。
- AD15-AD0：16 位采样数据，（MSB - LSB）。

16 位转换数据范围为 0-65535，采用偏移码输出，数据 \geq 32768 为“正电压”、数据 $<$ 32768 为“负电压”。

0 为负最大、65535 为正最大。

对应电压计算：

设：data 为 16 位转换结果

±10 伏， G=0

电压=(data-32768)*10000.0/32768(mV)

±5 伏， G=1

电压=(data-32768)*5000.0/32768(mV)

±2.5 伏， G=2

电压=(data-32768)*2500.0/32768(mV)

±1.25 伏， G=3

电压=(data-32768)*1250.0/32768(mV)

开关量操作函数

- 开关量输入

功能：读入 16 位开关量输入。

函数：__int32 MP4222_DI (HANDLE hDevice)

✧ hDevice：入口参数，卡的操作句柄。

✧ 函数返回：出口参数，返回读入的数据。低 16 位数据（D15-D0）对应输入端口 15-0 号。

□ 开关量输出

功能: 设置 16 位输出数据。

函数: `__int32 MP4222_DO (HANDLE hDevice, __int32 DO_Data)`

- ◇ `hDevice`: 入口参数, 卡的操作句柄。
- ◇ `DO_Data`: 入口函数, 输出的数据。数据的低 16 位有效。16 位数据 (D15-D0) 分别对应端口的 16 个 IO 输出口 15-0 号
- ◇ 函数返回: 出口参数, =0 操作成功, 其他失败。

注: 关于开关量的操作

- 输入: 如果需要判断 16 位输入的某一个位的状态, 可以利用“与逻辑”操作完成。例: 判断第 DI7 位的状态, DI7 对应二进制 0000 0000 1000 0000 即: 16 进制 0080H, 只要将读入数据 `didata` 进行以下操作:

```
VC: __int32 I;
    I=didata & 0x0080;
VB: dim I as __int32
    I=didata AND &H0080
```

判断如果 `I=0`, 表示 `DI7=0`, 否则为 1。

- 输出操作: 如果希望对 16 位输出端口的某一个输出置位, 可以通过与逻辑操作置 0, 或逻辑操作置 1。
例: 输出数据存放在变量 `I` 中。

1. 输出 D07 置 0 操作: 同样第 7 位的二进制码=1111 1111 0111 1111 (第 7 位=0), 对应 16 进制码 FF7FH, 输出数据 `dodata`:

```
VC: dodata=I & 0xff7f;
VB: dodata=I AND &Hff7F
```

2. 输出 D07 置 1 操作: 同样第 7 位的二进制码=0000 0000 1000 0000 (第 7 位=1), 对应 16 进制码 0080H, 输出数据 `dodata`:

```
VC: dodata=I | 0x0080;
VB: dodata=I OR &H0080
```

计数器操作函数

MP4222 有 2 个 24 位计数器, 通道 0、1。计数器可以完成计数及脉冲间隔宽度 (等效频率) 的测量。说明见: [2-5 计数器原理部分](#)。

□ 启动并初始化计数器

功能: 复位、设置模式、设置计数器数据并启动计数器开始工作。

函数: `__int32 MP4222_CNT_Run (HANDLE hDevice, __int32 cntch, __int32 cdata)`

- ✧ `hDevice`: 入口参数, 卡的操作句柄。
- ✧ `cntch`: =0-1: 选择通道 0-1 号。
- ✧ `cdata`: 24 位计数器初始化数据, =0-FFFFFFH。
- ✧ 函数返回: 0 正常/其它失败

□ 读出计数器数值及状态

功能: 读出 24 位计数器数据、判断计数器溢出、测频或测宽模式时判断操作是否完成。

函数: `__int32 MP4222_CNT_Read (HANDLE hDevice, __int32 cntch, __int32 *cdata, __int32 *tdata)`

- ✧ `hDevice`: 入口参数, 卡的操作句柄。
- ✧ `cntch`: =0-1: 选择通道 0-1 号。
- ✧ `*cdata`: `__int32` 指针, 出口数据。读出计数器数据。
- ✧ `*tdata`: `__int32` 指针, 出口数据。读出定时器数据。
- ✧ 函数返回: 出口参数, =1 计数器溢出或 tdata 有效; =0 正在计数; <0 错误。

注意: 频率测量及宽度测量操作的读出数据必须在 `Cread` 返回=1 后才有效。

说明:

1. 24 位计数器的数据范围: 0-FFFFFFH, 从 0 减法计数到 FFFFFFFH, 认为计数器溢出。
2. 宽度测量时 (模式 2): 输入正脉冲宽度=24 位计数器数据*0.1 (uS)
3. 频率测量及宽度测量操作的读出数据必须在 `Cread` 返回=1 后才有效。

脉冲发生操作函数

MP4222 有 2 个 20 位多功能脉冲发生器, 每路分别可以独立工作在 3 个工作模式:

工作模式:

模式 0: PWM 模式。宽度可编程方波输出。用户可以定义输出方波的周期及占空比。

模式 1: SP 模式。单次正脉冲输出。

模式 2: PLP 模式。可编程脉冲个数输出。用户可以控制发出 N 个用户定义周期的方波。数量 N 及方波的周期或速度为 20 位可编程。

各个模式说明, 详细见硬件原理部分 “2.6:脉冲输出原理”

□ 设置脉冲输出模式、数据、输出端口允许。

功能: 设置并启动输出。

函数: `int32 MP4222_PRun (HANDLE hDevice, int32 pch, int32 pmode, int32 pdata0, int32 pdata1)`

- ✧ hDevice: 入口参数, 卡的操作句柄。
- ✧ pch: =0-1: 选择通道 0-1 号。
- ✧ pmode: 工作模式, =0-2。
- ✧ Pdata0: =0 - FFFFFFFH, 设置 0 号数据。对应 PWM 模式的周期、SP 模式的宽度、PLP 模式的周期。
- ✧ Pdata1: =0 - FFFFFFFH, 设置 1 号数据。对应 PWM 模式的正脉冲宽度、PLP 模式的脉冲个数。
- ✧ 函数返回: 0 正常/其它失败

□ 查询工作状态。

函数: int32 MP4222_PState(HANDLE hDevice, int32 pch)

- ✧ hDevice: 入口参数, 卡的操作句柄。
- ✧ pch: =0, 1: 选择通道 0、1 号。
- ✧ 函数返回: -1:失败。其他为输出状态, =0 输出为 0、=1 输出=1。在软件触发单脉冲输出模式下, 查询输出是否结束 (=0)。

□ 设置脉冲输出数据。

功能: 中途改变脉冲输出数据。数据改变后, 脉冲输出将在下一个脉冲起始位置装入新数据。

函数: int32 MP4222_PSetData(HANDLE hDevice, int32 pch, int32 pdata0, int32 pdata1)

- ✧ hDevice: 入口参数, 卡的操作句柄。
- ✧ pch: =0-1: 选择通道 0-1 号。
- ✧ Pdata0: =0 - FFFFFFFH, 设置 0 号数据。对应 PWM 模式的周期。
- ✧ Pdata1: =0 - FFFFFFFH, 设置 1 号数据。对应 PWM 模式的正脉冲宽度。
- ✧ 函数返回: 0 正常/其它失败

□ 结束脉冲输出并将对应输出端口恢复到开关量输出。

函数: int32 MP4222_PEnd(HANDLE hDevice, int32 pch)

- ✧ hDevice: 入口参数, 卡的操作句柄。
- ✧ pch: =0, 1: 选择通道 0、1 号。
- ✧ 函数返回: -1:失败。=0 正常。

EEPROM 读写操作函数

□ 写 EEPROM

函数: __int32 MP4222_EEPROM_Write(HANDLE hDevice, unsigned char *wbuf)

- ✧ hDevice: 入口参数, 卡的操作句柄。
- ✧ *wbuf: char 指针, 指向一个至少 32byte 的数组, 数组中存放需要写入 EEPROM 的数据。
- ✧ 函数返回: -1:失败。=0 正常。

□ 读 EEPROM

函数: `__int32 MP4222_EEPROM_Read(HANDLE hDevice, unsigned char *rbuf)`

- ◇ `hDevice`: 入口参数, 卡的操作句柄。
- ◇ `* rbuf`: `char` 指针, 指向一个至少 32byte 的数组, 数组中存放从 EEPROM 读出的数据。
- ◇ 函数返回: -1:失败 。 =0 正常。

5.3: VC 程序编程说明

编程前，将 **MP4222.lib** 及 **MP4222.h** 程序拷贝到用户当前目录中。（需要的文件在 VC 目录中）

VC 编程的基本流程：

1. 利用显式调用加载函数。MP4222.lib、MP4222.lib.h 文件必须在当前工作目录中。方法，程序的开始处加入如下语句：

```
#pragma comment(lib, "MP4222.lib")  
#include "MP4222.h"
```

详细可以参考 VC 目录中的程序，MP4222_LIB.H 文件包含了需要的函数的声明过程。

2. 利用 MP4222_OpenDevice 函数获得板卡的操作句柄。
3. 在退出程序时必须执行如下操作：利用 MP4222_CloseDevice 函数关闭句柄

例：

```
//获得所有 MP4222 的操作函数  
#pragma comment(lib, "MP4222.lib")  
#include "MP4222.h"  
  
HANDLE hDevice=INVALID_HANDLE_VALUE; //硬件操作句柄  
  
Main()  
{  
  
    //获得 MP4222 硬件操作句柄  
    hDevice=MP4222_OpenDevice(0); //创建设备驱动句柄，设备号为 0  
  
    ..... //用户程序  
  
    //退出  
    MP4222_CloseDevice(hDevice); //关闭操作句柄  
}
```

详细可以参考光盘上的 MP4222 的 VC 目录下的例子。

在编程时必须注意，硬件操作句柄 HANDLE 必须为全局变量或必须传递给有相应硬件操作的函数。硬件句柄只要在程序启动时打开一次即可，不需要每次打开或关闭。

5.4: VB 程序编程说明

编程前，请将 MP4222.dll 动态链接库程序拷贝到用户当前目录中或 windows 系统的 system32 目录中

VB 编程的基本流程：

1. 在工程菜单中选择添加模块，将 MP4222.bas 模块添加进来（该模块在光盘中\USB\MP4222\vb 目录中，应用时将文件拷贝到当前工作目录），此文件为所有函数的声明文件。
2. 在模块中定义一个硬件操作句柄，为一个 long 属性的全局变量，这样可以被用户程序中的所有 form 调用（例：MP4222.bas 中声明的句柄 hd4222）。
3. 利用 MP4222_OpenDevice 函数获得板卡的操作句柄。

在退出程序时必须执行如下操作：

利用 MP4222_CloseDevice 函数关闭句柄

注：MP4222.bas 模块已经包含了所有必要的 MP4222 函数的声明语句。

例：

```
DIM hd as long

Private Sub Form_Load()

DIM I as long

hd = MP4222_OpenDevice(0) '打开设备 0 号，获得驱动句柄

..... '其他操作

End Sub

.....

Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)

MP4222_CloseDriver hd '关闭驱动

End Sub
```

有关用户其他方面的应用请参考光盘中的例程。

注：VB 中如果设备操作句柄不等于&HFFFFFFF 为有效句柄。

5.5 Labview 程序编程说明

本公司生产的所有采集卡的相关接口函数，均以动态链接库的形式提供给用户。在使用 LabVIEW 对本公司采集卡进行开发时，只需通过 LabVIEW 中的 Call Library Function Node 节点来调用我们所提供的动态链接

库函数即可对硬件进行相关操作。

Labview 中提供了将 DLL 的函数转换为 labview 库的功能。用户在生成函数库时请注意相应得数值定义。

- `__int32`: 32 位有符号数
- `HANDLE`: 操作句柄, 等效一个 32 位有符号数
- `Unsigned char`: 无符号 8 位整数
- `Double`: 双精度浮点数
- `*变量`: 指向变量的指针或数组。

六、附录

示意图

