

模拟 ADC 使用指南

一、引言

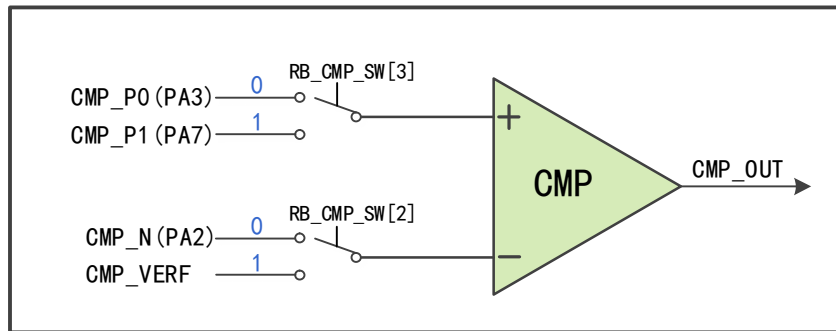
利用 PWM 输出，通过 RC 滤波电路转换为直流电压，并采用二分法逐次比较的方式模拟 9 位 ADC 功能。该模拟 ADC 方案适用于对成本敏感、对转换速度要求不高的应用场景。

CH572 除了定时器提供的 1 路 26 位 PWM 输出之外，系统还提供了 5 路 16 位或 8 位 PWM 输出（PWM1~PWM5），占空比可调，PWM 周期固定可选 8 种周期，操作简单。

CH572 提供了一个电压比较器 CMP，有两个输入端 P 端和 N 端。可选择其中一个输入端作为参考电压用于比较，当另一输入端电压小于参考电压时，比较器输出低电平，反之则输出高电平。其结构框图如下图所示。

电压比较器 CMP 的 N 端可以用二分查找的形式从内置的 16 档参考电压中选择，通过 4 次比较等效为 4 位 ADC 使用。

CMP 结构框图



二、硬件组成与参数

2.1 RC 滤波电路

二阶 RC 滤波电路由电阻 R1、R2 和电容 C1、C2 组成，截止频率为 7.24kHz。具体参数如下：

$$R1 = R2 = 10k\Omega$$

$$C1 = C2 = 2.2nF$$

此截止频率意味着高于约 7.24kHz 的信号成分会被有效衰减，从而将 PWM 信号转换为相对平滑的直流电压。

一阶 RC 滤波电路由电阻 R1 和电容 C1 组成，截止频率为 1.33kHz。具体参数如下：

$$R1 = 12k\Omega$$

$$C1 = 10nF$$

此截止频率意味着高于约 1.33kHz 的信号成分会被有效衰减，从而将 PWM 信号转换为相对平滑的直流电压。

2.2 PWM 信号

PWM 信号的频率为 $f = f_{sys}/\text{周期数}$ 。CH572 最高支持 100M 系统主频为例，以 9 位 ADC 的 512 个周期为例，则 PWM 频率约 200k。较高的 PWM 频率有助于 RC 滤波电路更好地滤除高频成分，使输出的直流电压更加稳定。

2.3 二分法比较

在二分法逐次比较过程中，如果使用 PWM 输出作为参考电压，则需要调整 PWM 占空比，PWM 切换周期决定了每次比较时间间隔，影响采样速率；如果使用内部参考电压，则需要调整内部参考电压值，采样速率高。

三、模拟 ADC 工作原理

3.1 PWM 输出与滤波

PWM 信号的占空比决定了其平均电压。通过 RC 滤波电路 PWM 信号中的高频成分被滤除，输出一个与占空比成正比的直流电压。

3.2 二分法逐次比较

以 9 位 ADC 为例，要实现 9 位 ADC 功能，总共有 512 种不同的数字输出状态。二分法逐次比较的具体步骤如下：

（1）初始化

将 PWM 占空比设置为中间值，对应数字量为 256，经过 RC 滤波后得到一个直流电压 V_{out} 。

（2）比较

将 V_{out} 与待转换的模拟输入电压 V_{in} 通过比较器进行比较。

若输出结果为 1 则说明当前 PWM 占空比对应的电压过大，下一次将占空比范围缩小到 0 - 255，再取新范围的中间值 128 作为下一次的 PWM 占空比。

若输出结果为 0 则说明当前占空比对应的电压过小，将占空比范围缩小到 256 - 511，再取新范围的中间值 384 作为下一次的 PWM 占空比。

（3）迭代

重复上述比较和调整占空比的过程，经过 9 次比较后，就能确定最终的 9 位数字输出值。

3.3 ADC 参数

分辨率	采样速率	输入电压范围	比较器参考电压
9 位	400Hz	0 ~ $V_{DD} - 0.8V$	PWM 滤波输出
8 位	160Hz	0 ~ $V_{DD} - 0.8V$	PWM 滤波输出
4 位	125kHz	0 ~ 800mV	内部参考电压

注：9 位 ADC 采用二阶滤波 $R1 = R2 = 10k\Omega$ ， $C1 = C2 = 2.2nF$ ；8 位 ADC 采用的一阶滤波 $R1 = 12k\Omega$ ， $C1 = 10nF$ ；4 位 ADC 采用内部电压作为参考，不需要额外的电路。可根据实际应用选择合适的电路。

四、使用步骤

4.1 硬件连接

- （1）将 PWM 信号输出端连接到 RC 滤波电路的输入端。
- （2）将 RC 滤波电路的输出端连接到比较器的一个输入端，参考电路图为 CMP_N 端口。
- （3）待转换的模拟输入电压连接到比较器的另一个输入端，参考电路图为 CMP_P1 端口。

参考 EVT 原理图设计。

4.2 软件编程

比较器、PWM 等模块的使用，以及整体方案的实现可参考例子程序。

4.3 校准与测试

(1) 校准

在实际使用前，可使用已知的参考电压进行校准，调整软件中的参数以提高转换精度。

(2) 测试

输入不同的模拟电压，检查输出的数字结果是否符合预期。可使用万用表测量模拟输入电压，使用示波器观察 PWM 信号和滤波后的直流电压。

4.4 应用举例

以实现锂电池电量百分比显示为例，电池电压有效范围为 2.9v~4.2v。先通过电阻分压得到 1.45v~2.1v 的电压范围，为省电，建议用大阻值电阻，分压点对地并联电容。要实现电量百分比显示，则要求测量误差小于 6.5mV。则需要采用 9 位 ADC 的方案。