

文章编号: 1007-2853(2006)02-0035-03

# MSP430 单片机构成 $\Sigma\Delta$ 型 AD 转换器原理及实现方法

刘 刚, 刘凤<sup>✉</sup>, 于 军  
(吉林化工学院 自动化系, 吉林 吉林 132022)

摘要: 主要介绍 MSP430 低功耗单片机构成  $\Sigma\Delta$  型 AD 转换器的原理, 给出了对应的电路图和程序框图。MSP430 单片机主要特点是功耗极低、片内含有比较器, 可以使用很少的零件构成  $\Sigma\Delta$  型 AD 转换器, 得到较高的分辨率。

关键词: AD 转换; MSP430;  $\Sigma\Delta$

中图分类号: TP 335<sup>+</sup>. 1

文献标识码: A

## 1 积分型 AD 转换器及 MSP430F413 简介

常用的积分型 AD 转换器有: 双积分型、 $\Sigma\Delta$  调制型等。

(1) 双积分型: 双积分型 AD 工作原理是将输入电压转换成时间(脉冲宽度信号)或频率(脉冲频率), 然后由定时器/计数器获得数字值。其优点是用简单电路就能获得高分辨率, 但缺点是由于转换精度依赖于积分时间, 因此转换速率低。

对于单片机构成的系统, 使用片外 AD 转换器即增加了成本, 又存在单片机与 AD 转换器连

接和数据传输问题, 相对比较麻烦。

(2)  $\Sigma\Delta$  调制型:  $\Sigma\Delta$  型 AD 转换器由积分器、比较器、1 位 DA 转换器等组成。原理上近似于积分型, 将输入电压转换成时间脉冲后得到数字值。对含有比较器的单片机可以使用很少的零件构成  $\Sigma\Delta$  型 AD 转换器, 得较高的分辨率。

(3) MSP430 系列单片机是美国德州仪器公司 1996 年以后逐步开发出来的 16 位低功耗单片机(MCU)。主要特点是功耗极低、开发方便、产品系列化, 可随使用要求不同选择相应产品。本文介绍的  $\Sigma\Delta$  型 AD 转换电路由 MSP430F413 单片机构成, 其片内结构如图 1 所示。

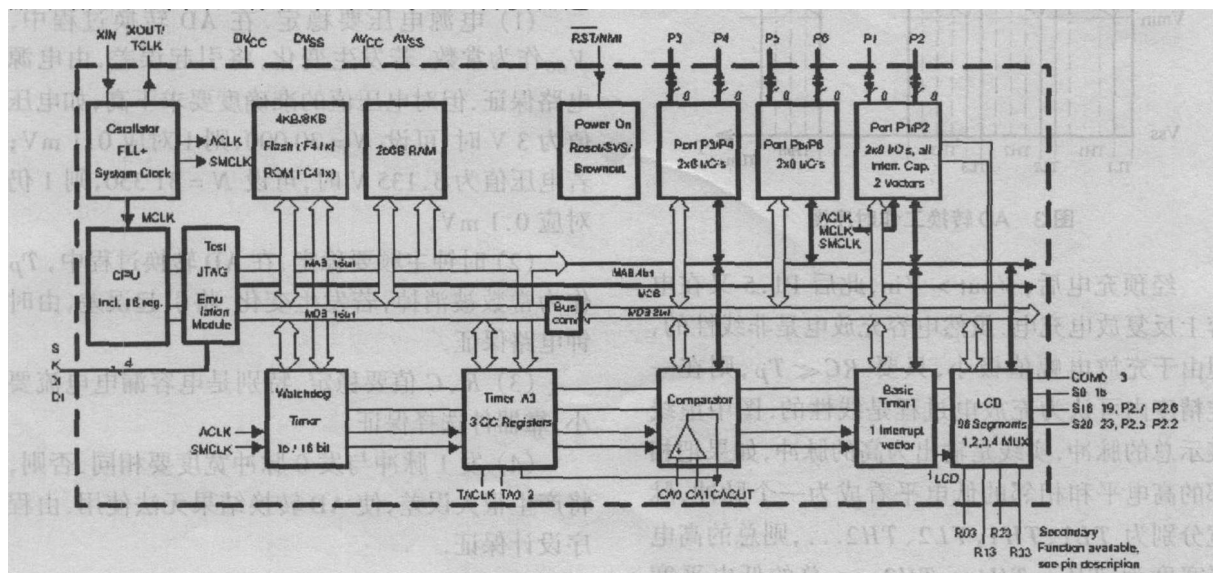


图 1 MSP430F413 片内结构框图

收稿日期: 2005-10-17

作者简介: 刘 刚(1956—), 男, 吉林长春人, 吉林化工学院高级工程师, 主要从事电工电子技术方面的研究。

## 2 $\Sigma\Delta$ 型 AD 转换器原理

$\Sigma\Delta$  型 AD 转换器电路图如图 2 所示. 其中:  $V_{in}$  是被测量; CA0、CA1 是 MSP430F413 单片机片内比较器输入端, 与 P1.6、P1.7 共用外引线; P1.5 是等宽脉输出端口, 当输出为 1 时, 输出幅值近似  $V_{CC}$  脉宽为  $T_p$  的脉冲, 当输出为零时, 输出幅值为 0 V 脉宽为  $T_p$  的脉冲; RC 构成充放电回路.

工作时, 首先由 P1.5 输出高电平  $V_{CC}$  对电容进行预充电,  $V_{out} = V_{in}$  时, 比较器翻转, 启动 AD 转换程序, 开始 AD 转换.

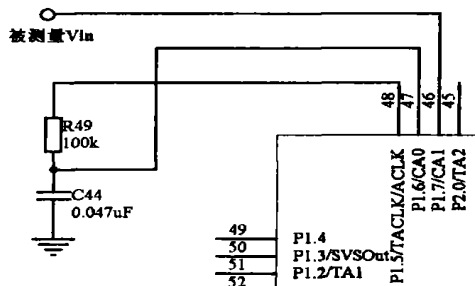


图 2  $\Sigma\Delta$  型 AD 转换器电路图

AD 转换工作时序图如图 3 所示.

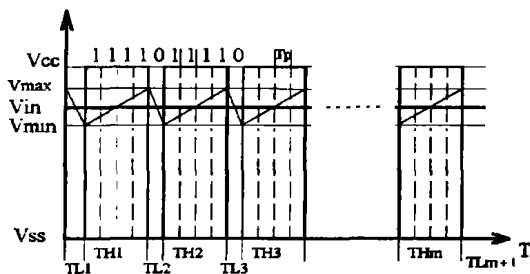


图 3 AD 转换工作时序图

经预充电后,  $V_{out} > V_{in}$ , 此后 P1.5 又在电容上反复放电充电. 虽然电容充放电是非线性的, 但由于充放电幅值极小, 只要  $RC \ll T_p$ , 则在一定精度内可认为充放电过程是线性的. 图中虚线表示总的脉冲, 实线是输出为高的脉冲, 如果把相邻的高电平和相邻的低电平看成为一个脉冲, 脉宽分别为  $TL1$ 、 $TH1$ ,  $TL2$ 、 $TH2$ ..., 则总的高电平宽度为  $TH = TH1 + TH2$ ..., 总的低电平宽度为  $TL = TL1 + TL2 + \dots$ .

充电时:

$$V_{max} = V_{CC} + (V_{min} - V_{CC})e^{-TH/RC} \quad (1)$$

放电时:

$$V_{min} = V_{max}e^{-TL/RC} \quad (2)$$

将(2)式代入(1)式中, 得:

$$V_{max} = \left(1 - e^{-(TH+TL)/RC}\right) V_{CC} \quad (3)$$

在一定的误差范围内, 有  $V_{max} = V_{in}$ , 则:

$$V_{in} = \left(1 - e^{-(TH+TL)/RC}\right) V_{CC} \quad (4)$$

虽然  $TH1 = TH2 = \dots$  和  $TL1 = TL2 = \dots$  不一定成立, 但总体效果上看, 可以认为它们是等宽的. 由  $n$  个高电平和  $N - n$  个低电平构成了  $m$  个大脉冲. 其中:

$$TH = \frac{nT_p}{m} \quad TL = \frac{(N-n)T_p}{m}$$

将式(4)的指数项用泰勒级数展开后, 得:

$$\frac{V_{in} \cdot N}{m} = \frac{V_{CC} \cdot n}{m}$$

$$\text{即: } V_{in} = \frac{V_{CC}}{N} \cdot n \quad (5)$$

$V_{CC}$ : 单机电源电压, 此处认为是恒定值.

$N$ : P1.5 输出总脉数 (比较循环总次数), 可根据分辨率要求设定, 是常数.

$n$ : 高电平脉冲数, 与输入电压成正比, 表示 AD 转换结果.

## 3 电路设计要求

(1) 电源电压要稳定. 在 AD 转换过程中,  $V_{CC}$  作为常数, 若发生变化, 将引起误差, 由电源电路保证. 但对电压值的准确度要求不高, 如电压值为 3 V 时, 可设  $N = 30\,000$ , 则 1 对应 0.1 mV; 若电压值为 3.135 V 时, 可设  $N = 31\,350$ , 则 1 仍对应 0.1 mV.

(2) 时钟主频要稳定. 在 AD 转换过程中,  $T_p$  作为常数被消掉, 若发生变化, 将引起误差, 由时钟电路保证.

(3)  $R$ 、 $C$  值要稳定. 特别是电容漏电流要小, 靠器件选择保证.

(4) 发 1 脉冲与发 0 脉冲宽度要相同. 否则, 将产生很大误差, 使 AD 转换结果无法使用. 由程序设计保证.

## 4 程序设计

$\Sigma\Delta$  型 AD 转换程序流程图如图 4 所示.

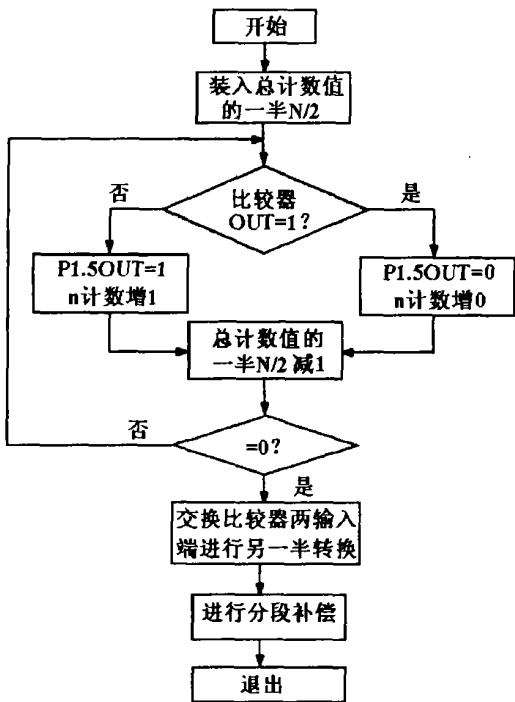


图 4  $\Sigma$ - $\Delta$  型 AD 转换程序流程图

5 测试结果及误差校正

经与标准表比对,发现所构成的  $\Sigma$ - $\Delta$  型 AD 转换电路测量数据曲线如图 5 所示.

$V_{in}$ 是输入被测电压,  $V_o$  是测得结果.

直线表示标准表测量结果,折线近似表示 AD 转换测量结果.考虑误差的特点和补偿算法应尽量简单,因此采用了分段直线平移方法进行校正,校正后的结果用两直线段表示.

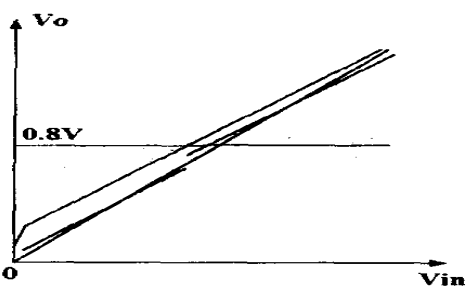


图 5 测量数据曲线

若  $V_{in}$  小于 0.8 V 时,减 10 mV;  $V_{in}$  大于 0.8 V 时,减 8 mV 进行校正,则会出现 2 mV 的断点.可根据测量精度要求增加段数,减小断点值.

6 结 论

MSP430F413 单片机外加简单电路就可以构成  $\Sigma$ - $\Delta$  型 AD 转换电路,可方便地用于 MSP430 构成的应用系统中.但该电路存在以下缺点:占用程序执行时间长,是以时间换分辨率的方法,不适用于高速测量;越靠近电源两端(0V,  $V_{CC}$ )误差越大,不适用于满幅测量.

参考文献:

[ 1 ] 胡大可. MSP430 系列 FLASH 型超低功耗 16 位单片机[ M ]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.  
[ 2 ] 魏小龙. MSP430 系列单片机接口技术及系统设计实例[ M ]. 北京: 北京航空航天大学出版, 2002.

Principle and realization of  $\Sigma$ - $\Delta$  A/D converter based on MSP430

LIU Gang, LIU Feng-gun, YU Jun

(Dept. of Automation, Jilin Institute of Chemical Technology, Jilin City 132022, China)

**Abstract:** Principle of  $\Sigma$ - $\Delta$  A/D converter based on the single-chip microcomputer MSP430 has been introduced in this paper. And the corresponding circuit and program block diagram are given. This converter can be constructed by a few components due to the characteristics of MSP430, which are lower power consumption and containing comparator, moreover, its precision is very high.

**Key words:** A/D converter; MSP430;  $\Sigma$ - $\Delta$