

# 基于 MSP430 的电压测量方法

陈建明 李 思

(装甲兵工程学院信息工程系 北京 100072)

**摘要:**本文描述了基于 MSP430 的通用定时器/端口模块的电压测量方法,解释了测量原理与过程,并列出了计算方程。测量结果表明:该方法实用、简便,所需器件少,具有较高的测量精度。

**关键词:** MSP430;通用定时器/端口模块;电压测量

**中图分类号:** TM933.2 **文献标识码:** A

## Economic voltage measurement method with the MSP430

Chen Jianming Li Si

(Dept. of Information Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072)

**Abstract:** This paper describes voltage measurement method using the MSP430 universal timer/port modules. The paper explains the voltage measurement principle and process, and shows how to measure voltage. The equations for the calculations are also given. The result of measurement shows that this method is valid and convenient, higher measurement accuracy.

**Keywords:** MSP430 family; the universal timer/port module; voltage measurement

### 0 引言

MSP430 系列单片机是 TI 公司生产的 16 位超低功耗混合信号控制器,能够在低电压下以超低功耗状态工

作,其控制器具有强大的处理能力和丰富的片内外设,带 FLASH 存储器的单片机还可以方便高效地进行在线仿真和编程。MSP430 系列单片机在信号处理、信息采集、仪器仪表、测试测量等领域具有十分重要的应用前景。

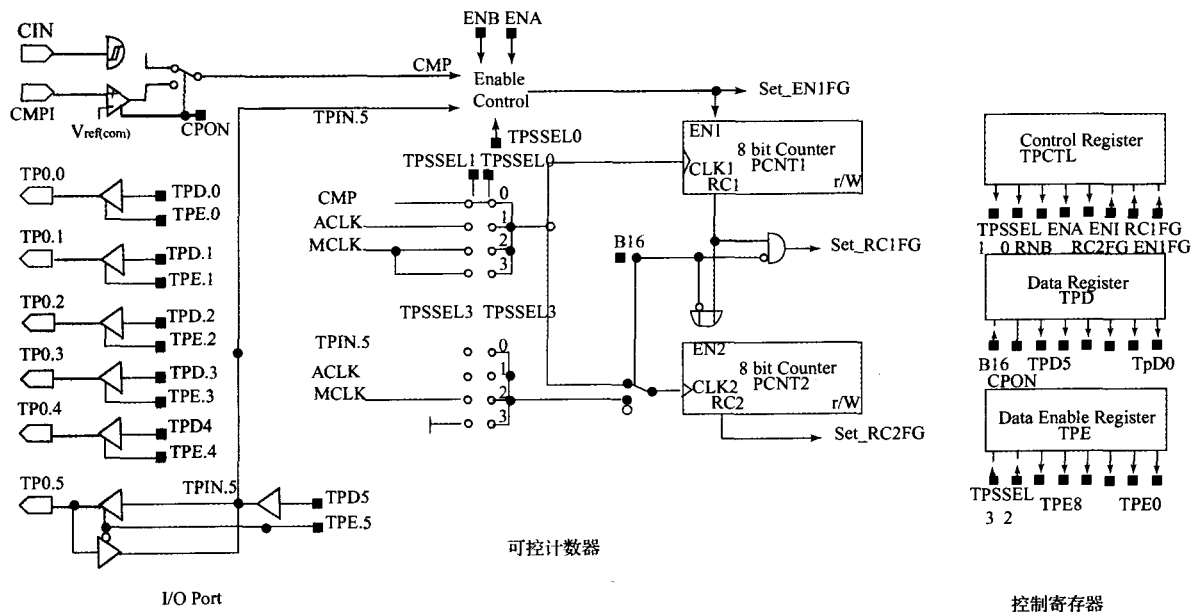


图1 通用定时器/端口模块框图

**作者简介:** 陈建明(1964-),男,副教授,主要研究方向为信号与信息处理。

MSP430C315 具有丰富的片内外设,还具有 LCD 驱动能力,可连接多段 LCD 显示器,因而可使整个电路变得异常简化,并可减少电路的功耗和体积。MSP430 中有一个十分重要的模块,即通用定时器/端口模块,利用此模块可完成许多功能,本文用该模块来进行电压测量,可获得理想的结果,并可在 LCD 上显示。

### 1 通用定时器/端口模块

通用定时器/端口模块的内部结构如图 1 所示,支持多种系统功能。

(1)可控计数器:2 个 8 位计数器,可以串联组成 1 个 16 位的计数器。另外,还有 1 个控制器,1 个比较器输入 CMPI,以及具有施密特触发器特点的输入 CIN。

(2)输入/输出端口:有 5 个输出端口(TP0. 0~ TP0. 4)和 1 个可切换高阻、输入/输出端口(TP0. 5)

(3)用斜率转换原理的 A/D 转换器的精密比较器。

该模块中的比较器输入(CMPD),通常用于电压测量,另一个输入为参考电压  $V_{ref(arm)}$ ,等于  $0.25 \times V_{CC}$ , $V_{ref(arm)}$  与温度无关。比较器消耗大约  $300 \mu A$ ,不使用时应当关闭。

### 2 测量原理

测量原理如图 2 所示。

图 2 表示电压测量电路对于输入电压  $V_{meas}$  具有 2 种不同的连接方式:

(1)低阻抗的输入电压直接连接到输入  $V_{meas0}$ 。输入阻抗大约是  $105 \Omega$  到  $106 \Omega$  之间。

(2)高阻抗的输入电压连接到运算放大器输入 ( $V_{meas1}$ ),近似的输入阻抗为  $109 \Omega$ 。

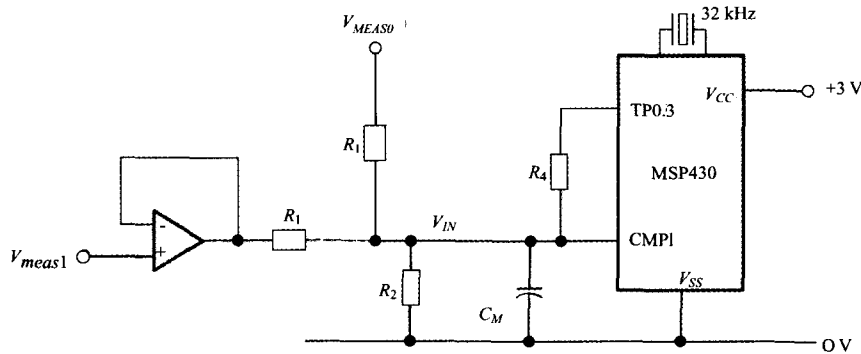


图 2 通用定时器/端口模块电压测量

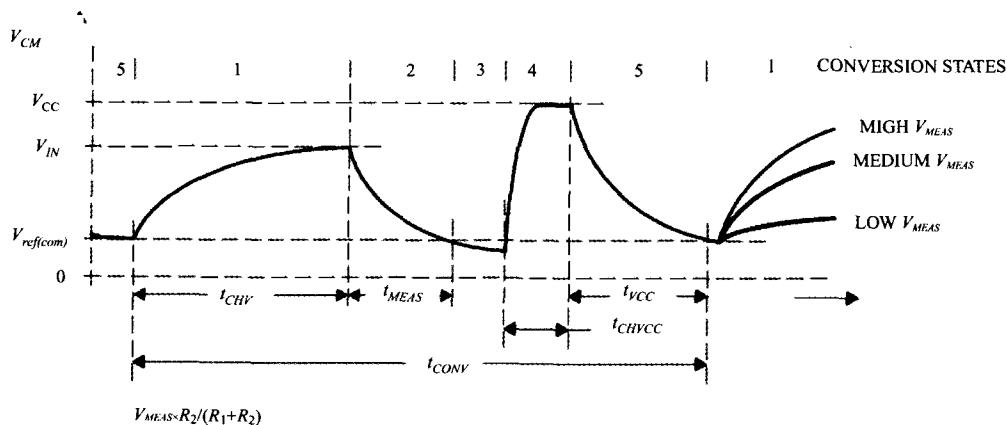


图 3 电压测量时序

如图 2 中输入电压  $V_{in}$  (CMPI)的范围:

$$V_{ref(arm)} < V_{in} \leq V_{CC} \quad (1)$$

当电源电压  $V_{CC}$  为 3 V 时,  $V_{in}$  测量电压介于  $0.25 \times 3 V = 0.75 V$  和 3 V 之间。通过电阻分压器构成的电阻  $R_1$  (或  $R_1'$ )和  $R_2$ ,  $V_{meas}$  输入电压范围为:

$$V_{ref(arm)} \times \frac{R_1 + R_2}{R_2} < V_{meas} \leq V_{CC} \times \frac{R_1 + R_2}{R_2} \quad (2)$$

为了测量电压  $V_{meas}$ ,从图 2 中可看出,采用对电容器  $C_M$  的充、放电原理来实现的。

$V_{meas}$  的测量时序如图 3 所示,数字表示对应的转换阶段。

用电压比较器和计数器测量电容放电至参考电压  $V_{ref(asm)}$  的时间,由于比较器输出作为计数器的允许信号,电容  $C_M$  的电压在  $V_{ref}$  之上时计数器一直增加。

根据 RC 电路的放电特性,遵循指数函数变化规律,通过测量 2 个时间间隔 ( $t_{meas}$  和  $t_{uc}$ ),则测量电压  $V_{meas}$  使用以下公式:

$$V_{meas} = V_{CC} \times \frac{R_1 + R_2}{R_2} \times e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (3)$$

式中:  $V_{meas}$  = 被测量的输入电压,  $V_{CC}$  = MSP430 的电源电压,  $R_1$  和  $R_2$  = CMPI 的输入分压电阻,  $t_{meas}$  =  $V_{meas}$  到  $V_{ref(asm)}$  的放电时间,  $t_{uc} = V_{CC}$  到  $V_{ref(asm)}$  的放电时间,  $\tau$  = 放电电路的时间常数 ( $\tau \approx R_1 \times C_M$ ),  $V_{ref(asm)}$  = 比较器输入 CMPI 的参考电压,  $t_{asm} = 2$  个完整电压测量时间。

$\tau$  为了获得一稳定的时间常数  $\tau$  值,电容器  $C_M$  应稳定。根据 RC 电路的放电特性,遵循指数函数变化规律,  $\tau$  亦可从式(4)(电容器  $C_M$  放电)中导出,从而获得式(5),代入式(3)获得式(6)。

$$V_{ref(asm)} = V_{CC} \times e^{-\frac{t_{uc}}{\tau}} \quad (4)$$

$$\tau = \frac{t_{uc}}{\ln \frac{V_{CC}}{V_{ref(asm)}}} \text{ where } \frac{V_{CC}}{V_{ref(asm)}} = 4 \quad (5)$$

$$V_{meas} = V_{CC} \times \frac{R_1 + R_2}{R_2} \times e^{-\frac{t_{meas}}{\tau} \times \ln \frac{V_{CC}}{V_{ref(asm)}}} \quad (6)$$

上式中要求:

(1) 电容器  $C_M$  具有高隔离电阻,必须有充足的充电时间:

- ① 1.0% 的准确度,充电时间至少为  $5\tau (e^5 = 148.41)$ 。
- ② 0.1% 的准确度,充电时间至少为  $7\tau (e^7 = 1096.63)$ 。

(2) 电源电压  $V_{CC}$  稳定,

(3) 电阻  $R_1$  和  $R_2$  的精度  $\pm 1\%$ , 温度偏移小于  $\pm 50 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ ,

(4) CMPI 必须用于比较器输入。

### 3 测量步骤

对照图 3 的测量时序,其测量步骤如下:

(1) 输出 TP0.3 切换到高阻态。电容器  $C_M$  在时间间隔  $t_{CHV}$  内充电到  $V_{meas}$ ;

(2) 电压测量开始。TP0.3 改用 0 V, 电容器  $C_M$  放电。同时,通用定时器 / 端口模块开始用 16 位计数器测量其放电时间 ( $t_{meas}$ )。当达到参考电压  $V_{ref(asm)}$  时,时间测量自动停止;

(3) 存储实测时间 ( $t_{meas}$ );

(4) TP0.3 切换至  $V_{CC}$ ,  $C_M$  充电至  $V_{CC}$ 。视精度要求所需时间由  $5\tau$  到  $7\tau$  不等 ( $\tau \approx R_1 \times C_M$ );

(5) 参考测量开始。TP0.3 改用 0 V,  $C_M$  放电。同时,开始用 16 位计数器测量时间 ( $t_{uc}$ )。当达到参考电压  $V_{ref(asm)}$  时,时间测量自动停止;

(6) 存储实测时间 ( $t_{uc}$ );

(7) 根据式(6)计算被测电压  $V_{meas}$ 。

注:所有公式显示测量的只是时间间隔。这些时间间隔  $t_x$  可以用公式转换为所测计数的  $n_x$ :

$$t_x = \frac{n_x}{f_{clk}}$$

$f_{clk}$  代表中央处理器 MSP430 的频率  $m_{clk}$ 。

### 4 电压测量的分辨率

采用充、放电法测量电压,其测量分辨率计算为:

$$\frac{dV_{meas}}{dn_{meas}} = \frac{V_{meas}}{\tau \times f_{clk}} \approx \frac{V_{meas}}{R_1 \times C_M \times f_{clk}} \quad (7)$$

在最坏的情况,  $V_{meas} = \max(V_{meas})$

$$\frac{dV_{meas}}{dn_{meas}} \approx \frac{3.7}{47 \times 10^3 \times 82 \times 10^{-9} \times 3 \times 10^6} = 0.32 \times 10^3$$

式中:  $V_{meas} = 3.7 \text{ V}$ ,  $C_M = 82 \text{ nF}$ ,  $R_1 = 47 \text{ k}\Omega$ ,  $f_{clk} = 3 \text{ MHz}$ , 则在最坏的情况是  $0.32 \text{ mV}$ 。折算到 A/D 转换器时,相当于模拟到长  $a$  的数字转换器:

$$a = \log_2(3.7 \text{ V} / 0.32 \text{ mV}) = 13.49 \quad (8)$$

上述结果表明测量电路的分辨率相当于分辨率在 13 位和 14 位之间的模拟—数字转换器。

### 5 测量定时

最差情况下,时间间隔  $t_{asm}$  为一个完整的电压测量周期,如图 3 所示。

$$t_{asm} = t_{CHV} + t_{meas} + t_{CHV} + t_{uc} \quad (9)$$

假设精度为 1%。如果需更高的精度,式(10)中的  $\ln 100$  必须被所需要精度的对数取代,例如  $\ln 1000$  为 0.1%。计算最大的时间间隔时取  $V_{in} = V_{CC}$ ,则:

$$t_{asm} = \ln 100 \times C_M \times R_1 \parallel R_2 + \tau \times \ln \frac{V_{CC}}{V_{ref(asm)}} + \tau \times \ln 100 + \tau \times \ln \frac{V_{CC}}{V_{ref(asm)}} \quad (10)$$

若取  $C_M = 82 \text{ nF}$ ,  $R_1 = 300 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 470 \text{ k}\Omega$ ,  $R_4 = 47 \text{ k}\Omega$ ,  $V_{CC} = 3 \text{ V}$ ,则:

$$t_{asm} = C_M \times (\ln 100 \times R_1 \parallel R_2 + 2 \times R_4 \times \ln 4 + \ln 100 \times R_4) \\ t_{asm} = 82 \times 10^{-9} \times (4.6 \times 300 \times 10^3 \parallel 470 \times 10^3 + 2 \times 47 \times 10^3 \times 1.386 + 4.6 \times 300 \times 10^3) \quad (11)$$

$$t_{asm} = 0.0975 \text{ s}$$

如果精度要求为 0.1% ( $10^{-3}$ ),时间间隔  $t_{asm}$  变为 141 ms。通过适当修改  $R_1$  和  $R_2$ ,  $R_4$  和  $C_M$  的值,测量周期的间隔时间将会大幅改变。

### 6 结束语

利用 MSP430 的通用定时器/端口模块测量电压可获得比较精确的结果,此方法测量电压简便,元器件少,2 个电阻和一个电容器既可。只要在电路中稍加修改还可以测量电流、电阻等。

### 参考文献

- [1] Texas Instruments. (下转第 70 页)

据,寻找问题所在。有些逻辑分析仪(例如 OLA2032B)具有类似数字示波器波形搜索功能,更加方便对已捕获数据进行分析。

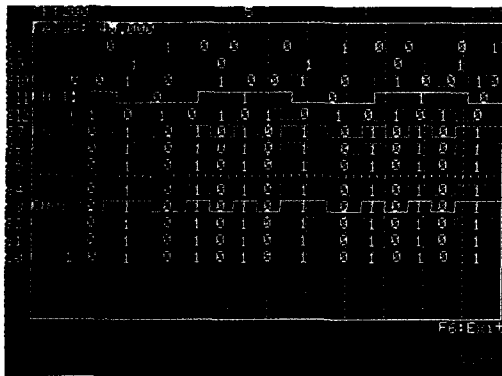


图2 逻辑分析仪 Auto-Scale 功能

#### 4 结束语

逻辑分析仪每次捕获并显示多个信号,同时分析这些信号的时间关系和逻辑关系,它是数字设计验证与调试过程中公认最出色的工具,能够检验数字电路是否正常工作,帮助查找并快速排除数字电路系统故障。它有别于示波器,技术

的发展使逻辑分析仪不再那么遥遥不可及,每个工程师未来都会容易使用。

#### 参考文献

- [1] 林玉池. 测量控制与仪器仪表前沿技术及发展趋势[M]. 天津:天津大学出版社,2005.
  - [2] 翟春林. 业余逻辑分析仪[M]. 香港:无线电技术出版社,2003.
  - [3] 王乐. 逻辑分析仪基础简介[DB/OL]. (2006-12). www.oitek.com.cn/oitek/news/oceanlist.asp?id=795.
  - [4] 库姆斯. 电子仪器手册[M]. 3版. 张伦,王晦光,黎安尧,译. 北京:科学出版社,2006.
  - [5] 梁志国,孙璟宇. 工业计量中的基本问题述评[J]. 航空计测技术,2004,24(3):1-2,12.
  - [6] Tektronix Inc. XYZ of Logic Analyzer[Z].
  - [7] 袁海英,陈光祚禹. 模拟电路的可测性及故障诊断方法研究[J]. 电子测量与仪器学报,2006,20(5):17-20.
  - [8] 徐振辉,吴晓波. 一种基于虚拟仪器的实时检测诊断系统[J]. 国外电子测量技术,2006,25(5):62-64.
- (上接第64页)
- [1] MSP430 Family Architecture Guide and Module Library [DB/OL]. (1996). http://www.ti.com.
  - [2] Texas Instruments. MSP430 Application Report [DB/OL]. (1998). http://www.ti.com.
  - [3] Texas Instruments. Data Sheet MSP430x31x[DB/OL]. (1998). http://www.ti.com.
  - [4] 宋启峰. 电子测量技术[M]. 重庆:重庆大学出版社,2000.
  - [5] 罗耀华. 电子测量仪器原理及应用(II)——智能仪器[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2002.
  - [6] 熊伟林. 模拟电路在电子测量技术中的应用[J]. 电子测试,2007(4):33-36.
  - [7] 李亚南,姜印平,李志丹. 基于MSP430单片机的智能型流量积算仪[J]. 仪器仪表学报,2007,28(3):510-513.
  - [8] 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社,2002.
  - [9] 杨艳琴,翟晓曙. MSP430系列16位超低功耗单片机原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
  - [10] 胡大可. MSP430系列单片机C语言程序设计与开发[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- (上接第42页)
- [1] 基于CPLD的多路数据采集系统的设计[J]. 中国集成电路设计技术,2007,33(7):52-55.
  - [2] 曲震宇,刘胜辉. 基于CPLD的高速数据采集系统控制模块的设计与实现[J]. 哈尔滨理工大学学报,2006,11(13):75-77.
  - [3] 卢俊强,鞠晓东,成向阳,等. 基于CPLD的多通道高速高精度数据采集控制器设计及应用[J]. 测井技术,2006,30(5):465-466.
  - [4] 宋华伟,苗世洪,张军民. CPLD在高压微机保护装置中的应用研究[J]. 电力电气,2006,25(12):64-66.
  - [5] 毋伟,李道明,毋涛. 随钻测斜仪温度补偿方法的研究[J]. 电子测量与仪器报,2000,14(3):64-66.
  - [6] 刘蕾,江洁,张广军. 基于CPLD的线阵CCD的驱动及数据采集[J]. 电子测量与仪器学报,2006,20(4):107-110.
  - [7] 袁亮,古天祥. 基于CPLD的多路全并行连续数据采集技术研究[J]. 电子测量与仪器学报,2006,20(1):56-59.