

低成本电容式触摸按键设计*

周志永, 胡建人*

(杭州电子科技大学 新型电子器件与应用研究所, 浙江 杭州 310018)

摘要:为解决传统的机械式按键输入方式易磨损、寿命短等问题,将电容式触摸技术应用到触摸按键之中,开展了对电容式触摸感应技术的分析,电容式触摸技术电路简单,只需要一个微处理器和一些外围电路就可以实现按键的检测与控制,因此适用于各种家用电器。首先介绍了电容式触摸控制的基本原理,本着降低成本和提高可靠性的前提,采用 PSoc 通用型芯片 CY8C24423 取代常规使用的 CapSense 型芯片,并给出了具体的软、硬件设计方案。研究表明,所设计的电容式触摸按键精度高、灵敏度可调、误操作率低,具有很大实用价值。

关键词:电容式触摸; PSoc; 灵敏度; CY8C24423

中图分类号: TP334.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)03-0365-04

Design of low cost capacitive touch buttons

ZHOU Zhi-yong, HU Jian-ren

(Institute of Electron Device & Application, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to solve the problems of the traditional mechanism button which is slide and short life, the capacitive touch technology was used in touch buttons. It is widely used in many home appliances because of its simple circuit: just need one MCU and some other peripheral circuits. At first, a general introduce was given to this technology. To reduce the cost and improve the reliability, general-purpose chip PSoc CY8C24423 was used to replace the CapSense one, designs both hardware and software were included. The experimental results show that the capacitive touch buttons have a high precision, low wrong operation rate and adjustable sensitivity.

Key words: capacitive touch-sensing; PSoc; sensitivity; CY8C24423

0 引 言

触摸输入方式已经在许多的领域得到了应用,例如手机触摸屏、MP3 触摸滑条、抽油烟机触摸按键等。触摸输入方式采用非接触式按键技术,相对于普通的机械式按键,有更长的使用寿命,并且可靠性不会随着时间的增加而降低^[1]。其次,触摸控制器还有开发周期短、研发成本低的优点。

根据采用触摸传感器类型的不同,触摸输入方式可以分为电阻式、电波式(如表面声波)、光学式(红外线)、电感式、电容式和电磁式等几种类型。每一类型

都有自己的优缺点以及适用场合。近年来,电容式触摸输入方式凭借其工艺成本低、触摸检测方便和硬件免维护等特点,成为触摸输入方式的主要选择。传统的触摸按键技术采用一些专有的芯片,例如 Cypress 公司的 CapSense 型芯片 CY8C21x34,利用内部特有的 CSD 模块,根据电磁感应的原理和张弛振荡器技术实现电容感应触摸,但是专有芯片价格过高。

本研究采用通用型的 PSoc 微处理器,构建低成本的电容式触摸系统。电容式触摸按键技术电路简单,只需要一个微处理器和一些外围电路就可以实现按键检测和控制,因此特别适用于许多家用电器。

收稿日期:2010-09-08

基金项目:浙江省自然科学基金资助项目(Y1080589)

作者简介:周志永(1983-),男,河南商丘人,主要从事单片机应用方面的研究. E-mail: huojian03@163.com

通信联系人:胡建人,男,教授,硕士生导师. E-mail: hujr@hdu.edu.cn

1 电容式触摸控制原理

PCB 板上的金属层 Capsense 到地 GND 之间有个分布式电容 C_p , 如图 1 所示。电路板上的表面覆盖层一般用玻璃或者塑料。要使触摸按键正常工作, 厚度一般不得大于 5 mm。当手指接触到表面覆盖物后, 手指与金属层产生一个大小为 C_f 的耦合电容。如图 2 所示, 这个电容相当于并联到原来的 C_p 之上, 因此对于电容传感器, 触摸前电容值为 C_p , 触摸后电容变为 $C_p + C_f$ 。根据平行板电容的定义, 有:

$$C = \frac{\varepsilon A}{d} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{d} = \frac{8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2 \times 7.8 \times 1 \text{ cm}^2}{0.4 \text{ cm}} \quad (1)$$

式中, 真空介电常数 $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$, 玻璃的(相对)介电常数 $\varepsilon_r \approx 7.8$, 假设玻璃厚度 d 为 4 mm, 电极面积 A 为 1 cm^2 , 可得出 $C_p = 17.26 \text{ pF}$ 。

由此可知, 通过测量手指触摸前后 PF 级电容值的变化, 就可以检测触摸按键是否被按下。

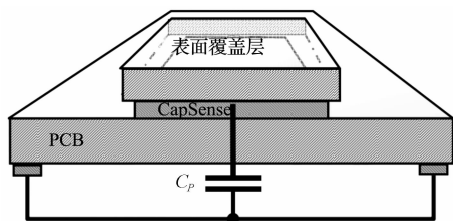


图 1 金属层与地之间的电容 C_p

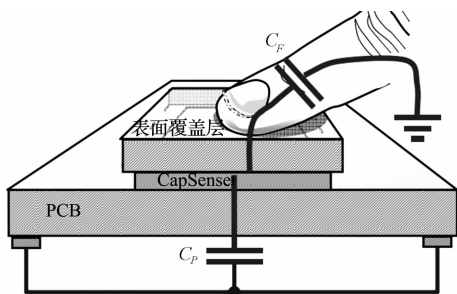


图 2 手指与金属层之间电容 C_f

2 基于 PSoC 的电容式触摸按键设计

2.1 整体结构设计

PSoC (Programmable System on Chip) 器件是 Cypress 半导体公司推出的一种可“在系统编程”的片上系统^[2], 它将一个 8 位微控制器与可编程数字阵列、模拟阵列集成在一个芯片上。其特点在于既具有 8 位微控制器的处理能力^[3], 又具有组成多种可编程数字或模拟用户模块的能力。但与一般单片机不同的是, 它

几乎不需要外部电路, 一片 PSoC 就可以实现一个电子系统, 因此特别适用于家电中。

PSoC 系列微处理器按照其用途分为通用型(如 CY8C24423)、CapSense 型(如 CY8C21x34)和 USB 型(CY8C24x94)^[4]。其中 CapSense 型芯片利用内部特有的资源, 根据电容感应的原理和张弛振荡器的技术实现触摸感应, CapSense 技术虽然几乎不需要外围元件, 但是芯片内部的 CSD 模块占用了较多的内部资源(3 个数字模块, 3 个模拟模块), 系统的功耗较通用型大。另外, CapSense 型芯片本身价格比通用型贵大约 5~10 倍, 鉴于以上原因, 下面提出使用通用型芯片 CY8C24423 加上少量外围元件构建低成本触摸控制电路的设计方案。系统的结构如图 3 所示, 首先单片机发出 PWM 波到触摸按键控制电路, 当按键按下时检测到电压变化^[5], 然后将压降通过单片机的模拟多路复用器 AMUX8 送入 PGA 模块放大后再送入 AD-INC12 处理。如果压降在有效的范围内就认为有按键按下, 不同按键的按下选择抽油烟机不同的档位。

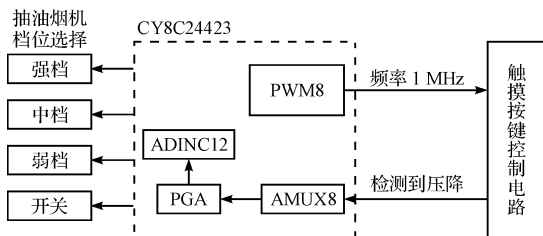


图 3 触摸按键系统结构图

2.2 硬件设计

2.2.1 PSoC 芯片配置

在 PSoC Designer 中配置如下, 用到的用户模块包括 8 位脉冲调制 PWM8、12 位增量型模数转换器 ADINC12、可编程增益放大器 PGA。另外还有 8 选 1 模拟多路复用器 AMUX8, 它不占用任何 PSoC 模块^[6], 提供一个连接至连续时间模块(CT)的 8 路模拟信号复用器。

全局资源配置: 单片机采取 5 V 供电, 最高频率 24 MHz。VC1 = 12 MHz、VC2 = 1 MHz、Res Mux = $(V_{dd}/2) + / - (V_{dd}/2)$; 可知 PWM8 模块采用 VC1 作为时钟, 所以要输出频率为 1 MHz, 占空比 $q = 10/12$ 的波形。

根据下式:

$$T = (\text{Period} + 1) \times T_{VC1}, \quad q = (\text{PulseWidth} + 1) / (\text{Period} + 1) \quad (2)$$

可得: $\text{Period} = 11$, $\text{PulseWidth} = 9$, PWM 波通过 PWM8 的 CompareOut 连接至 Port_2_7 输出; ADINC12 占用两个数字模块, 一个开关电容模块 SC, 需要注意的是 3 个模块必须使用相同的时钟, 否则运行将出现

错误。这里统一采用 VC2 即 1 MHz。ADINC12 的输入为 ACB01,即将 PGA 的输出作为其输入;PGA 模块的输入信号通过 AMUX8 的 AnalogInput_ColumnMux_n ($n=0,1$) 端口输入。PGA 的输出电压为:

$$V_{out} = (V_{in} - V_{SS}) \times Gain + V_{SS} = V_{in} \times Gain \quad (3)$$

式中: $V_{SS} = 0 \text{ V}$, $Gain = 1.000$ 。

2.2.2 电容式触摸控制电路设计

根据电容感应的原理,只需测量手指触摸前后电容值的变化,就可以知道是否有按键按下。但是,直接测量 PF 级的电容变化比较困难,而检测几百毫伏的电压变化要容易得多,所以只需要将电容的变化转化为电压的变化,就可以实现对触摸的检测了^[7]。给工作面通上一个电压很低的高频交流信号(1 MHz 的 PWM 波),当手指触摸时就会从触摸区吸走一个很小的电流,于是经过滤波后的输出电压就会有所下降。电容式触摸按键控制电路如图 4 所示,在电阻 R_6 端输入高频的 PWM 波,首先通过耦合电容 C_2 滤波,然后经过 D_1 整流。 C_1 通过 R_{11} 充电,通过 R_{16} 放电,当手指放到触摸区时,手指吸走一小部分电流,导致 C_1 两端的电压降低。从而 KEY 处输出电压也会下降,该信号的变化被微处理器的 ADC 检测到并进行处理。

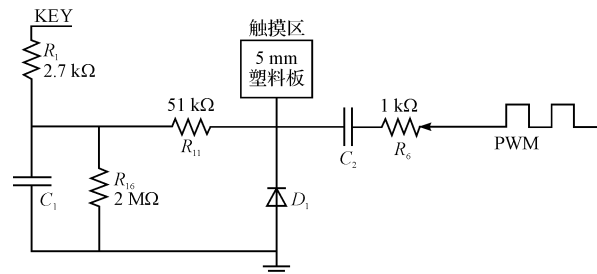


图 4 电容式触摸按键控制电路

2.3 软件设计

电容式触摸按键软件部分主要包括:主程序、硬件初始化模块、灵敏度测试调整模块、按键扫描模块以及各个按键子功能模块,程序流程图如图 5 所示。

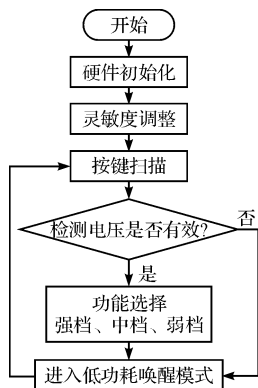


图 5 软件主程序流程图

系统上电后,由于电压不能立刻到达 5 V,但是 A/D 已经开始采样,可能会导致前几次采样值低于没有按键按下情况的电压均值,而产生按键误判。因此主程序中要编程舍去前几次采样值,经测试舍去前 7 次采样值便可以解决上电误判问题。通过灵敏度调整模块可以调整按键的灵敏度,以适应不同材料、不同厚度的表面覆盖层^[8]。

另外系统设置了低功耗唤醒模式,系统初始化后,当没有按键按下时系统进入休眠模式,经过一段时间的延时后唤醒按键扫描模块,进行按键扫描,如果有按键按下,软件判断是否有效,如果无效按键按下,系统继续进入休眠模式。如果软件判断有效按键按下,那么唤醒系统,触发任务处理进程。当处理完所有的任务后,系统又重新进入休眠状态。该系统通过软件实现每 20 ms 唤醒一次按键扫描模块,判断是否出现有效按键按下,从而实现低功耗唤醒模式,低功耗同时又能保持在按键按下时能快速响应。

3 测试与结果

测试环境如下:将系统板密封起来固定好,表面覆盖 5 mm 的塑料板。经测量,当按键没有按下时,KEY 输出波形如图 6 所示,按键的平均电压在 2.68 V 左右。当按键按下时,KEY 输出波形如图 7 所示,平均电压降到 2.43 V 左右,压降有 0.25 V 左右。因为测量值是在手指放在触摸区一段时间所得,为增加按键的灵敏度,应该取一个小于该值的电压变化作为有效的压降。经过反复的实验测量,该系统能检测到最低压降为 0.05 V 认为按键按下。在密封好的测试环境下,通过温度测试、湿度测试、水淹测试和电磁干扰测试,最终选取有效阈值为 0.08 V,这样既保证了高灵敏度,同时避免了按键误判而降低系统的可靠性。

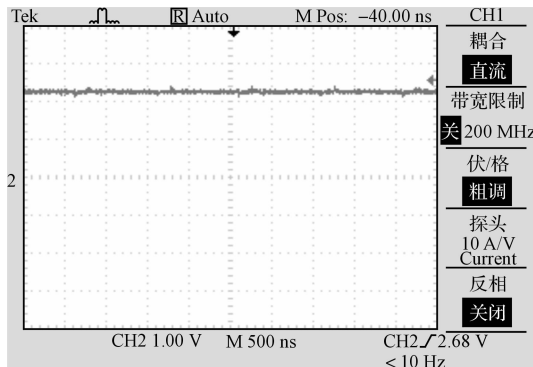


图 6 按键未按下时 KEY 处波形

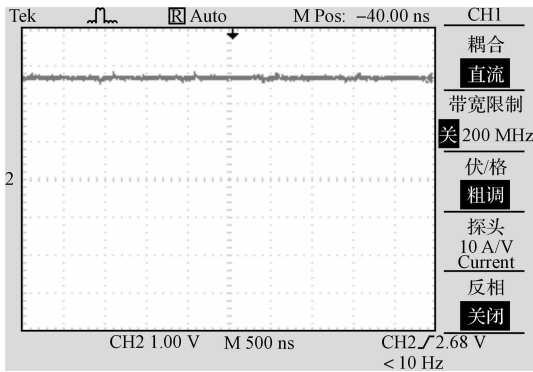


图7 按键按下时 KEY 处的波形

4 结束语

通过分析电容式触摸的基本原理,提出了使用 PSoC 通用型芯片设计低成本电容式触摸按键的方案,并给出了具体的软硬件设计方法。系统具有触摸检测灵敏度可调节的特性,提高了触摸的精确度和灵敏度。当不工作时系统进入低功耗唤醒状态^[9],这样可以在保证产品正常使用的前提下,最大限度地降低控制器的待机功率,既绿色节能又能大大提高它在手机、MP3、PC 外设、遥控等便携式低功耗产品中的推广普及程度^[10]。最后的测试结果表明,该触摸按键具有灵敏度高、误操作率低的特点,具有一定的实用价值。

参考文献(References):

- [1] 陈林. 轻松实现电容式触摸感应按键开关设计[J]. 电子产品世界, 2009, 16(10): 74
- [2] Cypress Semiconductor Corporation. CY8C20x34 Technical Reference Manual(TRM)[M]. Cypress Semiconductor Corporation, 2006.
- [3] Cypress MicroSystems. CY8C20234, CY8C20334, and CY8C20434 Final Data Sheet[M]. Cypress MicroSystems, 2005.
- [4] Cypress MicroSystems. CY8C24123, CY8C24223, and CY8C24423 Final Data Sheet[M]. Cypress MicroSystems, 2004.
- [5] 叶朝辉, 华成英. 可编程片上系统(PSoC)原理及实训[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 84-92.
- [6] 高申勇, 张颖, 曾红. 一种电容式触摸输入模块设计[J]. 杭州电子科技大学学报, 2009, 29(2): 56-60.
- [7] 袁忠根. 一种基于 PSoC 的电容感应式触摸按键系统的设计与实现[D]. 上海: 上海交通大学, 2008: 30-42.
- [8] 韩俊, 戎蒙恬. 低成本电容式触摸按键设计[J]. 信息技术, 2006, 30(8): 42-45.
- [9] 朱明程, 李晓滨. PSoC 原理与应用设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [10] 从秋波. 新的电容式触摸控制器实现超低功耗[J]. 电子设计技术, 2009(11): 10. [编辑: 李辉]

(上接第 356 页)

义。研究表明,所研究的几种函数中方差函数最适合于系统中的数字成像系统的清晰度评价,因为它具备如下的性质:

(1) 评价函数有效,并且能够迅速得出评价因子,指导完成自动对焦功能。

(2) 评价函数在一点上达到峰值对应于最佳对焦参量,并当物体离开最佳点时单调递减,即具有良好的单峰性。

(3) 在存在噪音的情况下,评价函数具有鲁棒性,即噪音产生不确定的评价值对评价结果影响很小。

参考文献(References):

- [1] ESKICIOGLU A M, FISHER P S. Image quality measures and their performance[J]. **IEEE Transactions on Communications**, 1995, 43(12): 2959-2965.
- [2] SUBBARAO M, CHOI T S, NIKZAD A. Focusing techniques[J]. **Optical Engineering**, 1993, 32(11): 2824-2836.
- [3] CHERN N K, POO A N, MARCELO H, et al. Practical Is-

sues in Pixel-based Auto-focusing for Machine Vision[C]// Proceedings of the 2001 IEEE, International Conference on Robotics and Automation. Seoul, Korea: [s. n.], 2001: 2791-2796.

- [4] SUBBARAO M, TYAN J K. Selection the optimal focus measure for Autofocusing and depth-from-focus[J]. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, 1998, 20(8): 864-870.
- [5] 黄剑琪. 基于频谱分析的数字对焦技术研究[D]. 杭州: 浙江大学光电信息工程学系, 2001: 21-31.
- [6] 赵荣椿. 数字图象处理导论[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1999: 37-54.
- [7] 李奇, 冯华君, 徐之海, 等. 数字图像清晰度评价函数研究[J]. 光子学报, 2002, 31(6): 736-768.
- [8] 康宗明, 张利, 谢攀. 一种基于能量和熵的自动聚焦算法[J]. 电子学报, 2003, 31(4): 551-555.
- [9] 袁珂, 徐蔚鸿. 基于图像清晰度评价的摄像头辅助调焦系统[J]. 光电工程, 2006, 33(1): 144. [编辑: 李辉]