

文章编号:1001-5132 (2010) 03-0122-04

基于 A/D 的电容触摸按键电路设计

方献良

(宁波方太厨具有限公司, 浙江 宁波 315336)

摘要: 电容式感应按键以其无机械磨损、寿命长、防水防污、易清洁和时尚的特点, 近几年应用领域和数量迅速增加。因此, 结合电容感应按键的特点, 设计了一种用 A/D 口搭配简单的电路实现电容感应按键的方法。经测试, 电路的稳定性较高, 在低成本的电路中适用性较强。

关键词: 电磁场; 电磁场能量; 电容充放电

中图分类号: TP334.2

文献标识码: A

触摸控制技术又可分为触摸屏(Touch Screen)技术和触摸按键(Touch Key)技术。在触摸按键技术方面, 目前主要可分为电阻式触摸按键与电容式感应按键。由于电阻式的触摸按键需要在设备表面贴一张触摸电阻薄膜, 其耐用性较低^[1]; 而电容感应按键技术具有在非金属操作面板上无须开孔处理、防水防污、易清洁、无机械开关磨损而寿命长等优点。近几年随着苹果公司将电容触摸感应技术从笔记本电脑引用到 iPod 后, 电容触摸感应热浪正席卷几乎所有电子产品。从笔记本电脑、智能电话、PDA、游戏机等手持设备, 到 LCD TV、DVD 等消费电子产品, 再到洗衣机、空调、冰箱、热水器、电磁炉以及咖啡壶等大小家电, 无不以加入电容触摸感应为新的卖点^[2]。目前, 世界知名电子元件供应商均加大了对电容触摸按键的应用研究, 并推出众多的专业芯片, 有专用电容感应按键类的全 ASIC, 也有众多基于 MCU 集成类的 IC。但这些芯片价格较高, 在一些按键数量少、成本要求低的电路中很难得到运用。另外, 使用这些集成类 IC, 很难做到所选资源恰好等于使用的情况, 存在

资源的浪费情况。而且对于升级成熟产品的机械式按键, 还存在变更原 MCU 代码的风险。同时, 目前, 对于电容式触摸按键的介绍大多也停留在基于电容量测量的原理上^[3]。笔者结合电容感应按键的原理, 设计了一种用 MCU 的 A/D 口实现电容触摸按键的低成本电路。

1 电容式感应按键原理

平行板电容器具有 2 个极板, 其间隔着 1 层介质, 电容器中的大部分能量直接聚集在 2 个极板之间, 1 个极板电荷数量的变化将引起另外极板电荷的增减, 从而在电容内部形成电流。

电容式感应按键的原理如图 1 所示, 感应按键的金属电极, 放置于非金属面板内, 并连接交变的电信号。如果在非金属面板另一侧与金属电极对应处放置另外 1 块金属板(图 2), 那么, 2 个极板就组成了平行板电容器, 非金属面板成为此平行板电容器的介质。由于电场被封闭在 2 个金属极板之间, 所以大部分能量均集中在非金属面板内。如果

在非金属面板外隔着金属, 手指触摸对其能量损失的影响就很小.

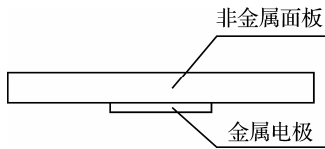


图 1 电容感应按键示意图

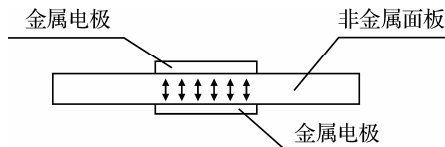


图 2 封闭电场示意图

去除外侧的金属板, 电场的能量就会穿过非金属的密集区, 向外传播(图 3). 当导体靠近操作面(即非金属面板表面)后, 电磁场即在导电介质中传播. 由于导体中存在自由电子, 这些自由电子在电场作用下就会形成传导电流, 进而产生焦耳热, 从而引起电磁波能量损耗^[4]. 由于人体组织中充满了导电电解质(一种有损电介质), 当手指靠近时, 同样会引起电磁能量损耗. 因此只要检测流经感应电极的电能变化, 就可以判断是否有手指靠近非金属操作面板.

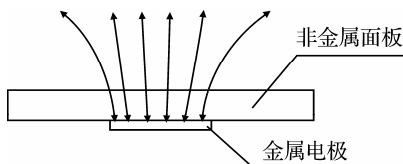


图 3 电容感应电极的电力线

2 电容感应按键取样电路分析

图 4 为电容感应按键取样电路图, 电路由 5 个

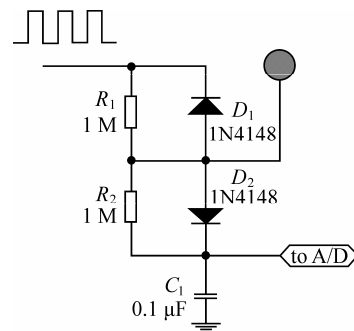


图 4 电容感应按键取样电路

分离元件组成. 其脉冲信号频率为 300 kHz, 幅度 12 V, 占空比为 50%. 通过读取电容 C_1 上的电压值判别是否有手指靠近操作区域. 其原理分析如下:

二极管 1N4148 正向导通电压为 V_d , 在脉冲信号跳变为高电平(12 V)时, 假定电容 C_1 上电压为 U_0 , 电容的充电回路根据 C_1 电压大小出现如下 2 种情况:

(1) 若 $(12 - U_0) / 2 > V_d$, 则充电回路为图 5(a), 充电时间常数 $\tau = RC = 10^6 \times 0.1 \times 10^{-6} = 0.1$ s, 电容 C_1 的充电电压:

$$U_c = U_0 e^{-t/\tau} + (12 - V_d) \times (1 - e^{-t/\tau}). \quad (1)$$

(2) 若 $(12 - U_0) / 2 \leq V_d$, 则充电回路为图 5(b), 充电时间常数 $\tau = RC = 2 \times 10^6 \times 0.1 \times 10^{-6} = 0.2$ s, 电容 C_1 的充电电压为: $U_c = U_0 e^{-t/\tau} + 12(1 - e^{-t/\tau})$.

在振荡脉冲跳变为低电平时, 根据电容 C_1 电压大小, 出现以下 2 种放电回路:

(1) 当 $U_0 > 2V_d$ 时, 放电回路为图 5(c), 放电电路的 $\tau = RC = 10^6 \times 0.1 \times 10^{-6} = 0.1$ s, 其放电时的电容电压为:

$$U_c = U_0 e^{-t/\tau}. \quad (2)$$

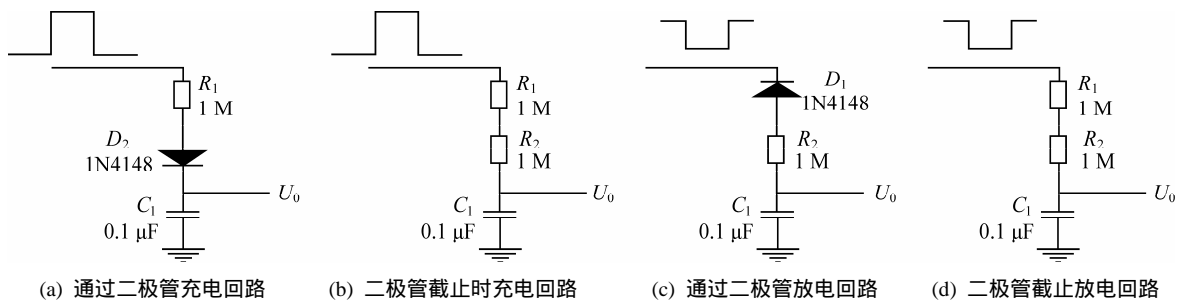


图 5 充放电回路电路

(2) 当 $U_0 \leq 2V_d$ 时, 放电回路为图 5(d), 放电电路的 $\tau = RC = 2 \times 10^6 \times 0.1 \times 10^{-6} = 0.2 \text{ s}$, 其电容电压为: $U_c = U_0 e^{-t/\tau}$.

由于电路中脉冲占空比为 50%, 充放电时间 $\tau_p = (1/6) \times 10^{-5} = 1.67 \times 10^{-6} \text{ s}$, 所以 $\tau \gg \tau_p$.

在该电路中, 充放电电阻大, 流过的充放电电流小, 二极管 1N4148 的导通电压也较小, 若以充电电路为图 5(a)、放电电路为图 5(c)来计算, 充电时间常数 $\tau =$ 放电时间常数 $= 0.1 \text{ s}$, 而充放电时间为 $\tau_p = 1.67 \times 10^{-6} \text{ s}$.

假定二极管电压在微弱电流下按 0.2 V 计算, 根据(1)式和(2)式, 运用迭代可计算出电容电压最后稳定在 5.9 V , 而以上计算不考虑由手指触摸等任何情况引起的能量损耗.

电容 C_1 充放电如图 6 所示. 在实际的充放电电路中, 电路对金属极板的充放电始终在进行. 当手指靠近金属极板时, 感应电极处存在的微弱电磁场被传导至人手指内电解质中, 同时消耗了部分能量, 电容 C_1 补充的电荷将减少, 因此电容 C_1 的电压将下降(图 7). 当 ΔV 变化量达到最小检测精度要求时, 系统即可通过计算识别出是否有手指或其他导电物体靠近操作区.

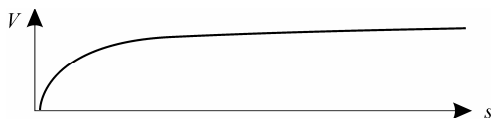


图6 电容充电时间与电压的关系

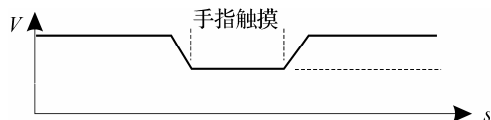


图7 手指触摸时的电平变化

3 A/D 法电容感应按键、读键流程

将电容电压引入 MCU 通用 A/D 口, 即可将电容 C_1 上的电压值转换为数字量; 并通过 MCU 计算出电容 C_1 两端电压的变化大小, 从而判断出是否有手指或其他导电物体靠近或离开触摸按键, 实

现电容感应按键的识别. 软件流程如图 8 所示.

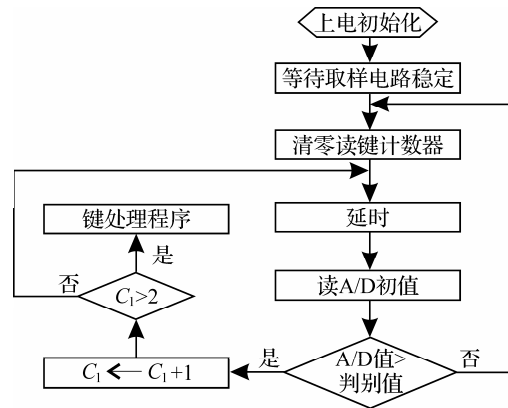


图8 读键流程

4 电路参数对感应灵敏度的影响

4.1 输入脉冲影响

输入脉冲的幅值决定了 C_1 上稳态电压, 如果脉冲幅值不稳定, 就会导致 C_1 上的电压波动. 如果该幅值变化引起的电容电压变化量 ΔV 超过了检测的最小检测精度, 即使没有手指靠近, 也会造成读键的误判, 所以脉冲电压幅度要稳定.

此外, 输入脉冲的频率同样也会影响到 C_1 电容的工作状态, 如果输入脉冲的频率过低, 则 C_1 电压纹波会加大, 感应灵敏度下降; 反之, 输入脉冲的频率过高, 则线路损耗加大, 而且触摸容易受到干扰.

4.2 充放电电阻值的影响

如果同时改变 R_1, R_2 的阻值, 比如将阻值改为 100 k , 充放电时间常数减少 10 倍, 因 $\tau = 0.01 \text{ s} \gg \tau_p$, 虽然 C_1 上电压变化不大, 但此时 C_1 上的充放电电流却显著增强, 使得手指触摸的灵敏度下降. 所以, 电路中 R_1, R_2 的阻值一定要选取恰当.

4.3 二极管的影响

由于上述电容式感应按键电路工作频率高, 且流经电流小, 所以应当选择结电容小、开关速度快、正向导通电压低的二极管. 另外, 二极管的工作可靠性一定要好, D_1, D_2 任一短路、断路都会破

坏充电回路,从而使触摸电路失效.

5 电容感应电极的形式

电容式感应按键的感应电极有很多种,常用的感应电极有 PCB 板上的电极及弹簧金属片式电极. 电极形式可以根据外观进行任意设计,如圆形、方形、三角形等. 但无论电极以哪种形式出现,其周围都应尽量远离地: PCB 双面板电极对应的另一面铜箔应当刻蚀去除,弹簧电极周围的 PCB 铜箔也要刻蚀去除. 否则,感应电极与金属之间将形成感应电流,削弱了手指或外界导电物靠近电极时电路的灵敏度.

同时,电极应当与非金属面板紧贴,如果中间有空隙,相当于增加了感应距离,使感应灵敏度降低. 感应电极的面积和非金属面板的厚度影响了感应的灵敏度. 实际应用中,目前厚 8 mm 以下的钢化玻璃,其圆形金属感应电极直径不小于 12 mm.

6 结语

这种用分离元件组成触摸感应按键用的低成本电路,在按键数量不多的情况下应用,可根据按键数量多少进行自由组合感应电极数量和最简电路数量,充分利用资源. 同时,对于升级原成熟产品,仅需选择原 MCU 系列中带 A/D 端口的产品,编写读取触摸按键的程序,可以很顺利地完程序替换. 该电路目前成功运用于油烟机、消毒柜、微波炉、蒸箱、烤箱等一系列产品上,顺利通过 EMC 标准的测试要求,市场质量表现稳定可靠.

参考文献:

- [1] 赵艳秋,冯健. 触摸控制处于起步阶段 MCU 企业尝试多种新方案[N]. 中国电子报,2008-11-04(8).
- [2] 孙昌旭. 六大主流电容触摸厂商策略与方案比较[J]. 国际电子商情,2007(8):8-12.
- [3] 邹明艳,张东来. PSOC 的电容式非接触感应按键设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2006(3):10-12.
- [4] 郭硕鸿. 电动力学[M]. 北京:高等教育出版社,1997.

A/D Circuit Based Design for Capacitive Touch Buttons

FANG Xian-liang

(Ningbo Fotile Kitchen Ware Co. Ltd., Ningbo 315336, China)

Abstract: In recent years, capacitive touch button has been widely used and its applications have been increasing rapidly. The users can benefit from its characteristics such as minimal mechanical wearing, long duration, water-resistance, dirt-resistance, easy-to-clean and wide range of applications. This paper introduces the use of a MCU'S analogue to increase digital capability by driving a simple circuit to achieve capacitive touch control. The test result indicates that the proposed circuit features in high stability, strong applicability and low-cost to make.

Key words: electromagnetic field; electromagnetic energy; capacitor charge/discharge

CLC number: TP334.2

Document code: A

(责任编辑 章践立)