

文章编号:1007-2780(2015)03-0472-12

新型并行扫描抗强光红外触摸屏模块设计

夏厚胤, 吴 亮, 黄子强*

(电子科技大学 电子科学技术研究院, 四川 成都 610054)

摘要:红外触摸屏是通过红外发射管和红外接收管收发红外光来进行触摸位置的判断,其工作原理决定了太阳光会对它产生干扰。采用串行扫描方式的抗强光红外触摸屏的扫描周期很长。本文采用 30.072 kHz、36 kHz、38 kHz、38.4 kHz、40 kHz、48 kHz、50 kHz、51.2 kHz 无源晶振分别设计并行扫描模块中红外发射管的信号源和红外接收电路的选频器。模块实现了 8 个检测通道的同时工作。提高了红外触摸屏抗强光能力,解决了相邻 8 个红外发射管同时工作而产生的串扰问题,缩短了扫描周期。

关 键 词:红外触摸屏;抗强光;并行扫描;选频接收;无源晶振

中图分类号:TN141 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20153003.0472

New module design of parallel scanning anti-light infrared screen

XIA Hou-yin, WU Liang, HUANG Zi-qiang*

(Research Institute Electronic Science and Technology,

University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: Infrared touch screen works through light emitting diode transmitting infrared light and infrared receiver diode receiving infrared light, so the sunlight will have interference to it. Scanning period of anti-light infrared touch screens which use serial scanning mode is too long. Eight kinds of crystal — 30.072 kHz, 36 kHz, 38 kHz, 38.4 kHz, 40 kHz, 48 kHz, 50 kHz, 51.2 kHz are used to design signal sources of infrared emission diodes. Then, the same frequency crystals are used to design frequency selective circuits. The design make eight scanning units working simultaneously come true. It enhances the anti-light ability of IR touch screen and solves the problem of interference among the eight infrared transmitting diode in parallel scanning mode, reducing scan cycle.

Key words: infrared touch screen; anti-light interference; parallel scanning; frequency selective circuits; crystal

1 引 言

触摸屏技术作为一种人机互交方式已广泛应

用于信息产业、商务、娱乐、金融、公共设施、医疗服务等各个方面^[1]。红外触摸屏无需薄膜,光透过率为 100%,而且不受电流、电压和静电干扰,适宜恶劣的环境条件。相比其他触摸屏而言,红

收稿日期:2014-10-16;修订日期:2014-12-21.

* 通信联系人, E-mail: zqhuang@188.com

外触摸屏在清晰度、精确定位、稳定性方面有很大优势。但红外接收管的响应波段为 770~1 070 nm。红外触控屏的缺点在于容易受到环境光尤其是太阳光的干扰。太阳辐射光谱的波长范围在 150~4 000 nm,所以红外接收管的响应波长完全包含在太阳光的辐射光谱的波段内,且在太阳光中,红外波段的能量占有 48.3%。因此,现阶段红外触摸屏还不能在室外强光的环境中使用。抗强光也一直是红外触摸屏难以解决的问题。

目前在红外屏抗强光问题上提出两种方式,一是物理防光,;二是电气防光^[2]。

物理防光是通过在红外屏的设计结构上减少外界光线对红外接收管的影响,常见的方案有以下几种:

光准直沟道法是指通过改变红外接收管的形状,使其只接收垂直投射过来的红外光,从而减少了接收斜入射的太阳光^[3]。这种方法会减弱红外接收管的受光面积,衰减红外接收管的接收信号。

粘贴偏振片法是通过在红外触摸屏内框上粘贴偏正片,同一扫描模块内,红外发射管与红外接收管前方的偏振片的方向是一致的;相邻模块所使用的偏正片方向刚好垂直^[4]。这种方法有一定的抗强光能力和减小并行扫描红外触摸屏模块间的干扰,但同样减弱了红外接收管的信号。

窄带带通滤光条法是通过在红外触摸屏内框上加上一层特定波段的窄带通光条,带通滤光条会让红外发射管中心波段的红外光通过^[5]。这样太阳光中的大部分强光会被衰减,从而起到抗强光干扰作用。

物理防光只能减小强光的干扰,但同样会对红外发射管发出的红外信号进行衰减,不能从根本上解决强光干扰问题。因而提出了红外信号的调制与解调的方法,以滤除阳光产生的直流红外信号,达到强光干扰信号的滤除的目的。

基于选频放大法的红外触摸屏是通过使用滤波器对红外接收管接收的信号进行选频放大。太阳光照射在红外接收管上,产生直流或缓变交流干扰信号这样的噪声可以通过滤波器滤除,从而提取出红外发射管发射的红外信号^[6]。但是滤波法的红外触摸屏的选频 Q 值较低,元件较多,抗强光能力较弱。且滤波器法的红外屏系统达到稳定状态所需要的时间较长(一般需要 10 个信号周

期以上),平均每个管子的扫描时间至少 200 μs ^[7]。

基于锁相放大法的红外触摸屏是通过使用利用相关检测技术,使输入待测的周期信号与频率相同的参考信号在相关器中实现互相关,从而将非相关噪声中的有用信号检测出来,起着检测器和窄带滤波的双重作用^[8-9]。使用锁相放大器的红外触摸屏的选频 Q 值较高,较有效的滤除强光干扰,抗强光能力能达到 50 000 lx。但是使用锁相放大器的电路复杂,调试较繁,所用元件较多,平均每个管子的扫描时间要大于 500 μs 。

由此看来,抗强光红外触摸屏的响应时间主要消耗在扫描的过程上。若将扫描过程转化为并行工作方式,红外触控屏的工作时间将大大缩短。为此,本论文报告了并行工作方式的抗强光红外触控屏的结构与检测结果,其特点在于,触控屏包含了 8 个检测模块(以下简称为模块),每个模块使用 8 种频率的无源晶振作为红外发射管发射信号的频率源,在接收电路使用与之对应的 8 种频率的无源晶振作为选频滤波器器件,模块内部采用并行方式同时检测 8 路触控信号。当红外接收管接收信号与晶体滤波器的本征频率一致时,信号可以通过晶体滤波器;当红外接收管接收信号与晶体滤波器的本征频率不同时,信号会被极大的衰减,从而达到窄带滤波器的效果。与前两种方法相比,采用无源晶振具有结构简单, Q 值高,选频效果好的优点^[10-11]。本论文所提出的 8 路不同频率的红外信号同时、并行发射、接收,保留了抗强光干扰的优点,且将信号检测时间降低至 1/8。与本文类似的工作在国内外均未见报道。

2 并行扫描抗强光红外触摸屏模块总体方案

红外触摸屏包含 8 个检测模块和 1 个主控制器组成。每个检测模块中包含有 8 个并行通道和 1 个可编程片上系统组成。当检测模块检测到触摸时发出中断请求,主控制器响应中断并读取检测模块给出的触摸坐标位置。若触摸发生在两个检测模块之间的位置时,主控器须根据两模块给出的触摸坐标计算出实际的坐标。由此看来,红外触控屏总的响应时间主要取决于单个检测模块

的响应时间。红外触控屏总体框架和单个检测模块结构示意图如图 1 和图 2 所示。

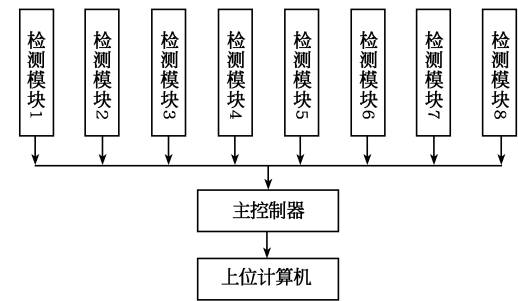


图 1 红外触控屏总体框架

Fig. 1 Overall diagram of infrared touch screen design

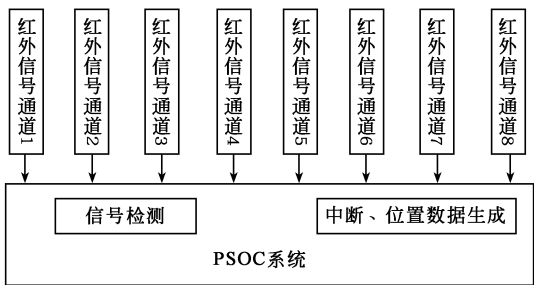


图 2 单个检测模块结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of one detecting module

系统在运行时,8 个检测模块共 64 个红外信号通道(以下简称为“通道”)同时并行工作,每个检测模块独立实现 8 个通道的触摸信息检测,触控发生时检测模块发出中断信号,然后将触控位置通过 I2C 总线传给主控制器。主控制器在接收完所有检测模块的触摸数据后,计算出触摸位置,再通过 I2C 通信将触摸位置信息传送给上位计算机。

如上所述,并行扫描抗强光红外触摸屏单元模块的设计方案包括 1 个可编程片上系统和 8 个通道,每个通道独立发射和接收 红外信号。单个通道包含信号发生、红外发射、红外接收、选频滤波、峰值保持等单元。为使通道性能达到最优,信号发生器的频率须与选频滤波器的中心频率相同。为区分 8 个通道发出的红外信号,8 个通道的信号发生器的信号频率均不相同。单个通道的结构示意图如图 3 所示。当模块运行时,8 个通道同时工作,由信号发生器产生的电信号由红外发射电路转换成红外信号,在红外接收电路处将

红外信号再转换成电信号,再由选频滤波电路滤除外界强光产生的低频噪音和相邻单元的串扰信号,然后通过信号放大和峰值保持,最终由可编程片上系统内部的模拟电路实现 8 个通道的信号检测和电路刷新。

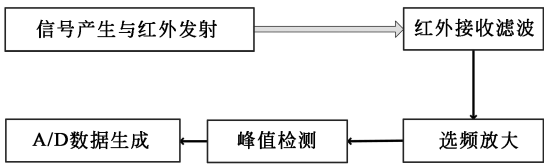


图 3 单个通道结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of one detecting channel

(1)信号产生与红外发射电路:由于无源晶振作为滤波器时的通频带很窄,所以红外发射信号的信号源的频率要在其中心频率上。使用 LC 振荡器的信号发生器具有频率可调,输出频带宽的特点,但输出频率不够稳定。使用有源晶振的信号发生器具有输出频率稳定的特点,但有源晶振在 100 kHz 以内只有 32.768 kHz 一种,而本模块设计需要 8 种不同频率的信号发生器,所以也不能满足设计要求。因此检测模块中使用无源晶振,负载电容,反馈电阻,非门组成晶体振荡电路,其特点是输出的信号稳定,输出频率由无源晶振的并联谐振频率决定,可以通过调节负载电容改变振荡频率,使输入信号频率与无源晶振串行谐振频率相同。在红外电路中再增加放大器,使红外发射管达到额定电流。

(2)红外接收滤波电路:红外接收管为光敏电流器件,其光电流随外界光强增大而增大。因后面有选频电路,这里的放大器前加电容隔直作简单的滤波已经足够。

(3)选频放大电路:在红外接收电路输出信号中即包含了外界强光的直流噪音和低频噪音,又包含了相邻发射管发出的高频串扰信号。选频电路要有很高的 Q 值以滤除强光的噪音和模块内的串扰信号。模块中选频电路采用无源晶振,如后所述。

(4)峰值检测电路:主要包括放大电路、峰值保持电路。

(5) A/D 数据生成:采用 Psoc 5 内部的 A/D 模块电路完成。

3 并行扫描抗强光模块的具体电路设计与分析

本论文设计的并行扫描抗强光检测模块的总体框图如图 4 所示。

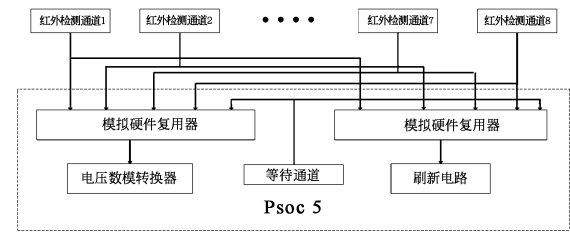


图 4 并行扫描抗强光模块的总体框图

Fig. 4 Overall diagram of parallel scanning anti-light infrared touch screen module

并行扫描抗强光红外触摸模块包含 8 个通道。每个通道分别包含非门晶体振荡器,红外发射电路,红外接收电路,无源晶振滤波器,放大电路,峰值保持电路。每个通道内的门振荡器和无源晶振滤波器的中心频率相同。8 个扫描单元所使用的中心频率皆不相同,依次为 30.072 kHz、36 kHz、38 kHz、38.4 kHz、40 kHz、48 kHz、50 kHz、51.2 kHz。

由于 PSoC5 芯片内的模拟端口不能互连,所以每个单元分别连接到 2 个 PSoC 5 的 IO 口,一个 IO(P0.0)实现扫描单元的模数转换,另一个 IO(P0.1)实现电路的刷新。单个通道的具体电路如图 5 所示。通道之间除无源晶振频率不同外,其他器件相同。以下对电路中各部分做详细介绍和分析。

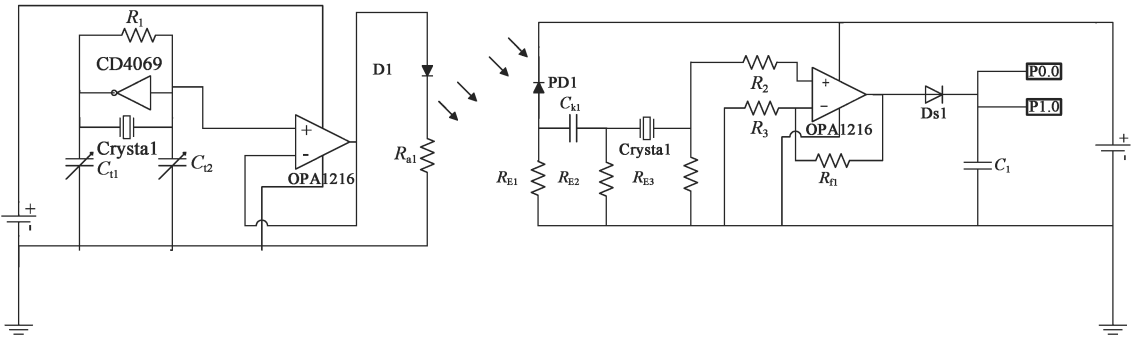


图 5 单个通道电路图

Fig. 5 Circuit diagram of one detecting channel

3.1 信号产生电路

信号发生电路使用 30.072 kHz、36 kHz、38 kHz、38.4 kHz、40 kHz、48 kHz、50 kHz、51.2 kHz 的无源晶振作为振荡器的核心器件。电路采用皮尔斯非门振荡器电路,输出的信号频率可以调节到无源晶振串联谐振频率。

非门晶体振荡电路如图 6 所示,图中 C_{11} 和 C_{12} 用于微调振荡频率, R_1 为反馈电路。

由于信号发生器的频率须与选频滤波器的中心频率相同才能使通道性能达到最优,以下以 38 kHz 晶体振荡器电路为例说明频率调整的方法与必要性。

无源晶振的符号及等效电路如图 7 所示, L_q 为动态电感, C_q 为动态电容, r_q 为动态电阻, C_o 为静态电容^[12]。从等效电路中可以看出无源晶振

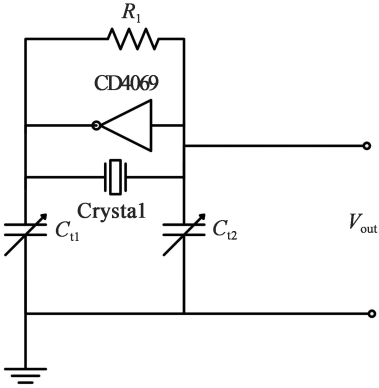


图 6 晶体振荡器电路

Fig. 6 Circuit diagram of crystal oscillator

有两个谐振频率,当无源晶振作为振荡器时其频率为并联谐振频率,其值为:

$$f_p = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_q [C_q C_o / (C_q + C_o)]}} \quad (1)$$

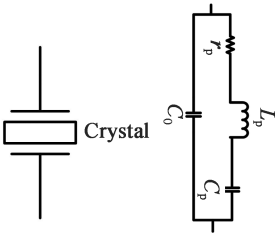


图 7 无源晶振符号及等效电路

Fig. 7 Crystal symbol and equivalent circuit

当无源晶振作为滤波器时,其特征频率为晶体的串联谐振频率,其值为:

$$f_q = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_q C_q}}. \quad (2)$$

无源晶振的 Q 值为:

$$Q_q = \frac{2\pi f_q L_q}{r q}. \quad (3)$$

38 kHz 晶振的动态电感 L_p 为 2.744 H,动态电容 C_q 为 6.4 fF,静态电容 C_o 为 1.3 pF,动态电感 r_q 约为 150 Ω ,则:

$$f_p = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_q [C_q C_o / (C_q + C_o)]}} = 38.091 \text{ kHz}, \quad (4)$$

$$f_q = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_q C_q}} = 37.998 \text{ kHz}, \quad (5)$$

$$Q_q = \frac{2\pi f_q L_q}{r q} = 4366. \quad (6)$$

在非门晶体振荡器中负载电容 C_L 和门电路的延迟 t 会对输出信号频率产生影响。首先考虑负载电容 C_L 的影响,其输出信号频率为:

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_q C_q [(C_o + C_L) / (C_q + C_o + C_L)]}}, \quad (7)$$

(其中 $C_L = C_1 // C_2$).

然后考虑门电路延迟的影响,由于门电路的时间延迟 t 会在非门的反相端产生相位误差 $\Delta\theta$,由谐振回路的相频特性可知相位误差会造成频率误差^[13]。由 CD4069 的资料可得时间延迟 $t = 310 \text{ ns}$, f_{p1} 为具有负载电容 C_L 的无源晶振并联谐振频率, Q 为晶振的品质因数。则相位误差 $\Delta\theta$ 和频率误差 Δf 分别为

$$\Delta\theta = -360 \times t_{PR} \times f_p = -4.24, \quad (8)$$

$$\Delta f = \frac{f_{p1} \times \tan\Delta\theta}{2Q} = -17.1 \text{ Hz}. \quad (9)$$

信号输出频率为:

$$f_w = f_{p1} + \Delta f =$$

$$\frac{1}{2\pi \sqrt{L_q C_q [(C_o + C_L) / (C_q + C_o + C_L)]}} - 17.1. \quad (10)$$

由信号输出频率 f_w 对负载电容 C_L 求导可得:

$$f_w' = -\frac{1}{4\pi} \times$$

$$\sqrt{C_q / L_q (C_o + C_L)^3 (C_q + C_o + C_L)}^{-\frac{1}{2}} < 0. \quad (11)$$

由极限条件可知,

当 C_L 为 0 时;

$$f_{w1} = f_{p1} + \Delta f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_q C_q C_o / (C_q + C_o)}} - 17.1 = 38.093. \quad (12)$$

当 C_L 为 ∞ 时;

$$f_{w2} = f_q + \Delta f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_q C_q}} - 17.1 = 37.981. \quad (13)$$

由于 $f_{w1} > f_q > f_{w2}$, f_w 单调递减,则存在一个 C_L 的值使输出频率 f_w 等于无源晶振串行谐振频率 f_q 。图 8 为实验中 38 kHz 晶振的负载电容与输出频率的曲线图。

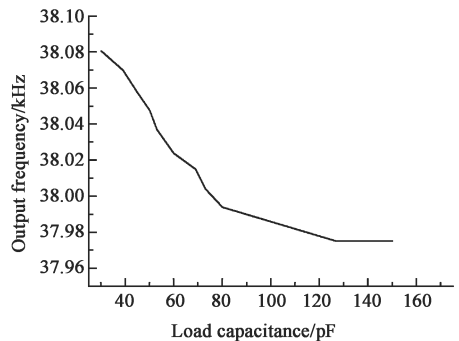


图 8 38 kHz 无源晶振的负载电容与输出频率的关系
Fig. 8 Relationship between the load capacitance and the output frequency of 38 kHz crystal

从图 7 中可以看出,当负载电容约为 70 pF 时,输出频率等于无源晶振的串行谐振频率,则说明非门晶体振荡器可以使通道的性能达到最优。

3.2 红外发射电路

红外发射电路由 1 个红外发射管,1 个限流电阻,运算放大器构成。其电路设计点如图 9 所示,图中电阻 R_{a1} 为限流电阻,其值为 47 Ω 。红外

发射管导通电压 V_{on} 为 0.7 V 。通过计算可得,红外发射管最大电流为:

$$I_s = \frac{V_{cc} - V_{on}}{R_s} = \frac{5\text{ V} - 0.7\text{ V}}{47} = 91.5\text{ mA} \quad (14)$$

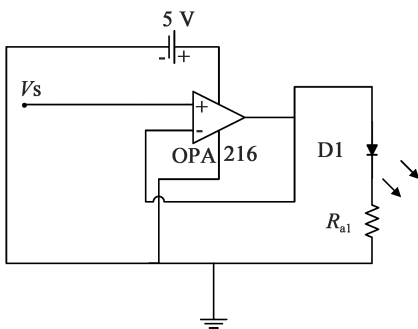


图 9 红外发射电路

Fig. 9 Circuit of light emitting diode

3.3 红外接收滤波电路

红外接收电路使用 1 个红外接收管、2 个电阻和 1 个隔直电容构成,其设计电路如图 10 所示。图 10 为 $50\,000\text{ lx}$ 强光下,不同接收电阻上的直流电压幅值。图 11 为在 $50\,000\text{ lx}$ 光强下,不同接收电路与接收电压上直流分量的关系曲线图,从图 11 中可以看出,电路中接收电阻 R_{E1} 选择 $10\text{ k}\Omega$,强光产生的电压幅值为电源电压一半,则为 $50\,000\text{ lx}$ 光强下最佳接收电阻。

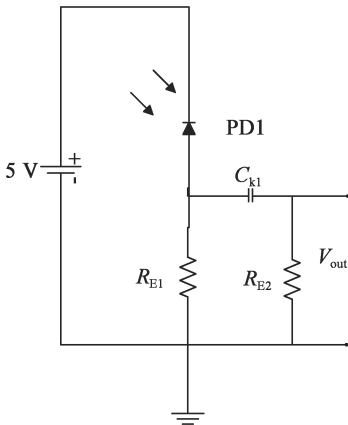


图 10 红外接收电路

Fig. 10 Circuit of infrared receiver diode

3.4 选频电路

模块中每个通道的选频电路中心频率各不相同,分别实现对 30.072 kHz 、 36 kHz 、 38 kHz 、

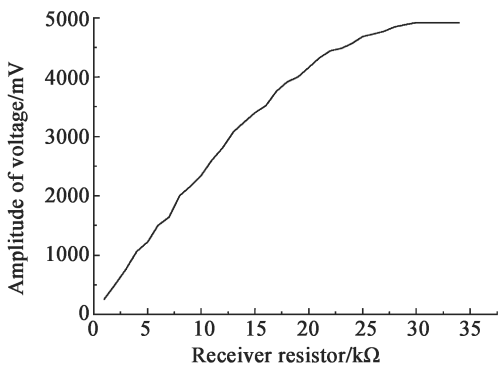


图 11 接收电阻与接收电压直流分量的关系曲线图
Fig. 11 Relationship between resistances and DC component of received voltage

38.4 kHz 、 40 kHz 、 48 kHz 、 50 kHz 、 51.2 kHz 的信号选频。选频电路以无源晶振为核心,形成无源晶振串联式选频网络,电路如图 12 所示。当电路的输入信号频率和无源晶振的固有频率相同时,通过逆压电——压电效应,在输出端输出无源晶振固有频率的正弦波。图 13 为 8 种无源晶体在输入信号电压为 3 V ,不同输入频率和输出电压的曲线图和局部放大图。

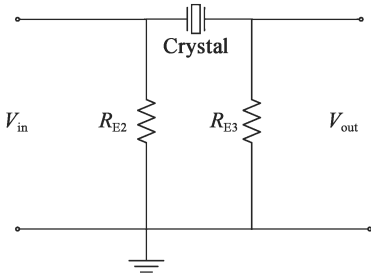


图 12 无源晶振选频电路

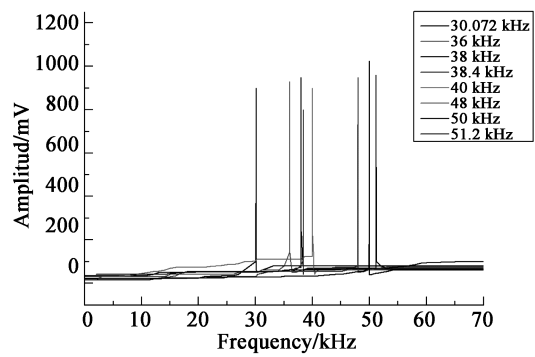
Fig. 12 Frequency selective circuit of crystal

从图 13 中可以看出无源晶振的通频带很窄, Q 值很高,选频效果很好;8 种无源晶振选频的中心频率各不相同,可以滤除模块内的信号串扰;强光产生的直流和低频噪声不在无源晶振的通频带内,会被选频电路滤除。

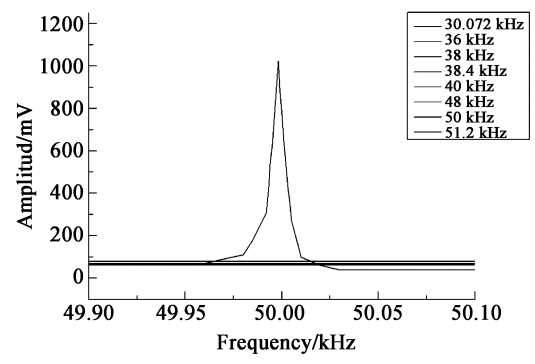
3.5 检测电路

检测电路由同相放大电路,峰值保持电路和可编程片上系统芯片 Psoc 5 内部电路组成,对选频输出信号进行放大和检测。

具体电路如图 14 所示。其中 $P0.0$ 和 $P1.0$ 为 Psoc 5 的 IO 口,同相放大电路使用 TI 公司



(a) 无源晶振选频电路的输入信号频率与输出电压的关系
(a) Relationship between the frequency of input signal and the voltage of output signal



(b) 局部放大图
(b) Partial enlarged drawing Of fig. a
图 13 无源晶振选频电路的输入信号频率与输出电压的关系图(a)和局部放大图(b)

Fig. 13 Relationship between the frequency of input signal and the voltage of output signal and partial enlarged drawing

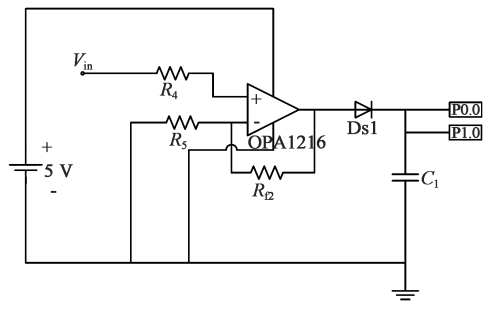


图 14 信号检测电路
Fig. 14 Signal detection circuit

的 OPA1216 运算放大器外加电阻组成。峰值保持电路使用肖特基二极管和电容构成,电容大小为 $10\ \mu\text{F}$ 。

可编程片上系统芯片 Psoc 5 硬件电路原理图如图 15 所示,其功能为实现 8 通道信号检测、通道刷新和信息传递。由于 Psoc 5 电路设计规则的限制,模拟端口不能相互连接,所以需要互连的模拟端口只能在外连接。在设计电路中每个扫描通道连接 2 个 IO,一个 IO 为信号检测端口,另一个为通道刷新端口。图 15 中实线表示 Psoc 5 内部连线,虚线表示端口外部需要添加的连线。Psoc 5 通过控制 Amux_9 模拟复用器实现 8 通道信号检测端口的电压转换,而连接刷新通道的端口被悬空;然后信号检测的端口被悬空,停止信号检测;再通过控制 Amux_1 至 Amux_8 实现 8 通道的同时刷新。Psoc 5 外部的放电电阻 $R_1 \sim R_8$ 的大小均为 $4.7\ \Omega$ 。并行扫描抗强光红外触摸屏单元扫描模块内的可编程片上系统芯片 Psoc 5 被设置成从机,触摸信息通过 I2C 汇报给主控制器。

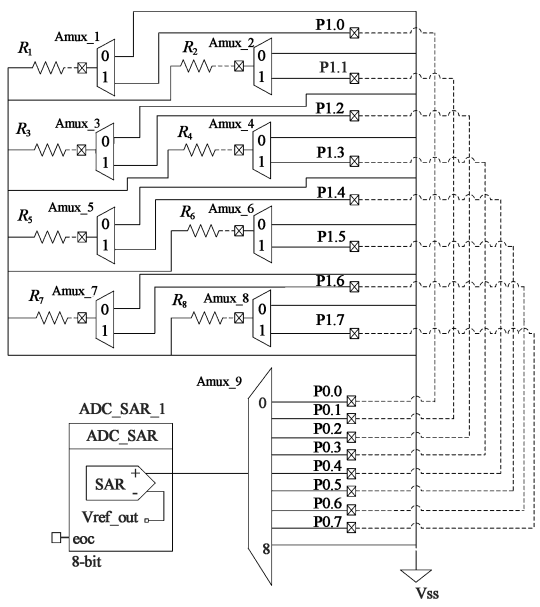


图 15 Psoc 5 硬件电路原理图
Fig. 15 Schematic of Psoc 5 hardware circuit

4 并行扫描抗强光红外触摸屏模块的实验结果及分析

4.1 单个检测通道的性能验证

并行扫描抗强光红外触摸屏含有 8 个检测通道,为测试检测通道内各部分的电路设计是否达

到设计要求,首先对单个检测通道的性能进行验证。单个检测通道的装置图如图 16 所示。

装置中包含白炽灯泡,光度计,信号产生电路,红外发射电路,红外发射管,红外接收管,红外接收电路,选频电路,峰值保持电路和 Psoc 5。其中白炽灯泡作为强光干扰源,光度计用于检测外界光强。光度计放置于红外发射管和红外接收管同一平面上,并紧靠红外接收管。在检测通道中共设有 3 个检测点,使用示波器作为检测仪器,分别检测红外发射信号的波形,红外接收信号的波形和选频电路的输出波形。

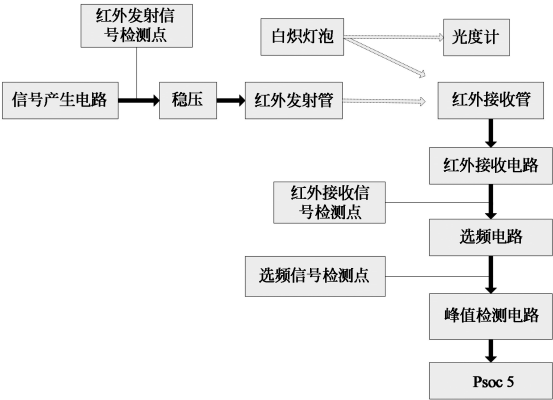


图 16 单个检测通道实验装置图

Fig. 16 Configuration diagram of one detecting channel test

实验开始时,先观察红外发射信号检测点和选频信号检测点,通过调节信号产生电路的负载电容使选频电路的输出信号达到最大值,即信号产生电路的输出信号频率等于无源晶振的串行谐

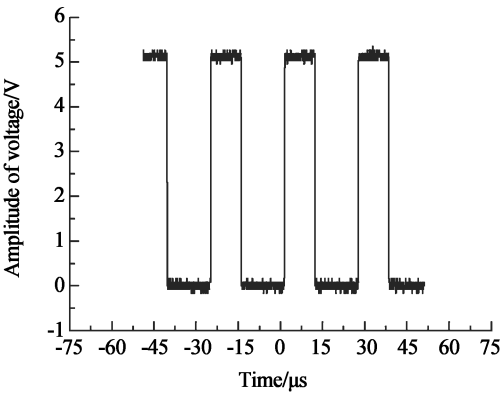


图 17 信号产生电路的输出波形

Fig. 17 Output waveform of the signal generating circuit

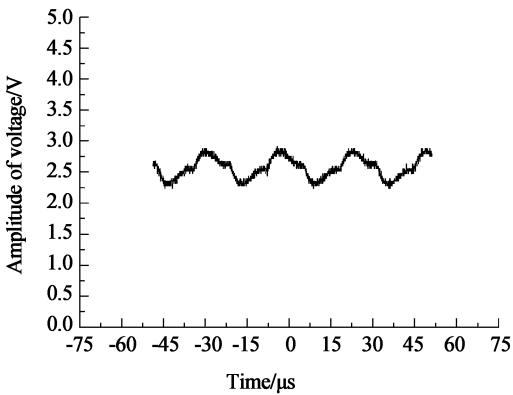


图 18 强光环境下接收电路的输出波形

Fig. 18 Output waveform of infrared receiver circuit under the strong light

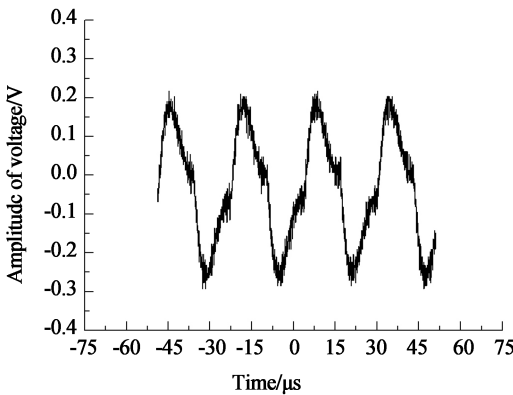


图 19 强光环境下接收电路输出信号的交流分量波形图

Fig. 19 Output waveform of AC component of infrared receiver circuit under the strong light

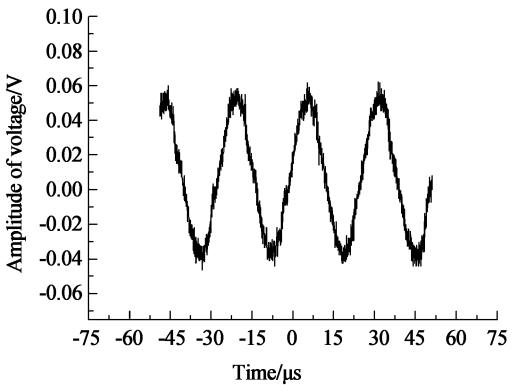


图 20 选频电路的输出波形

Fig. 20 Output waveform of frequency selective circuit

振频率。然后将白炽灯泡通电并直接照射红外接收管,在贴近接收管的地方放置光度计探头,用以测试强光环境下接收电路的输出波形,并使用光度计测得外界光强度。

图 17 为信号产生电路的输出波形,图 18 为外界光强为 51 200 lx 下,接收电路的输出波形,图 19 为外界光强为 51 200 lx 下,接收电路输出信号的交流分量波形图,图 20 为选频电路的输出波形。实验表明检测通道可以滤除强光干扰,实现红外信号的调制、解调过程,系统稳定可靠。

4.2 并行扫描抗强光红外触摸屏模块的性能测试

并行扫描抗强光红外触摸屏模块的性能测试装置如图 21 所示。

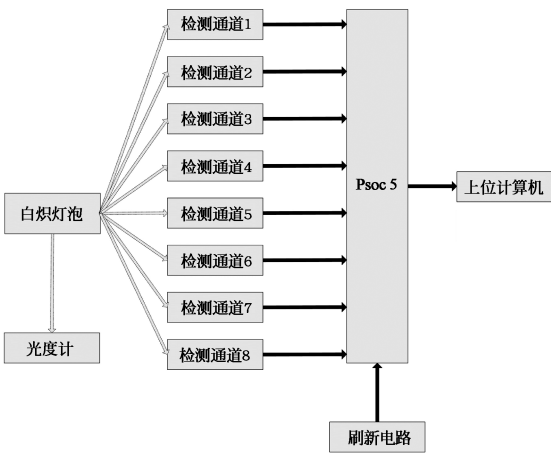


图 21 模块的实验装置图

Fig. 21 Configuration diagram of the module

装置中包含 8 个检测通道,1 个 Psoc 5 芯片,1 个主控制器,白炽灯泡,光度计和上位计算机。8 个检测通道的内部装置一样,如图 16 所示。Psoc 5 芯片使用 I2C 通信,将通道检测情况汇报给与主控制器。主控制器使用串口和上位机通信。

实验开始时,通过单个通道的测试方法调整 8 个检测通道信号产生电路的输出频率。然后将白炽灯泡通电,检测强光环境中接收电路的饱和度状况。最后检测强光环境中各通道遮挡状况与 Psoc 5 A/D 转换后的量化值之间的关系。

表 1 为外界光强为 51 200 lx 下,无外界遮挡时,检测模块的饱和度测试结果。表 2 为外界光强为 51 200 lx,信号接收性能测试结果,即各通道遮挡状况与 Psoc 5 A/D 转换后的量化值之间的关系。

表 1 强光下饱和度测试结果表

Tab. 1 Result of saturation test under the strong light

通道号	接收电阻 上直流信 号的电压 幅值/V	接收电阻 上交流信 号的电压 幅值/mV	选频电路 输出信号 的电压幅 值/mV	是否 饱和
1	2.35	560	112	否
2	2.34	580	120	否
3	2.32	750	181	否
4	2.33	710	154	否
5	2.34	650	135	否
6	2.37	680	140	否
7	2.27	660	127	否
8	2.29	630	123	否

从表 1 中可以看出,外界光强为 51 200 lx 时,每个通道上接收电阻的直流信号电压幅值与交流信号电压幅值之和小于供电电压 5 V,则说明接收管未饱和,选频电路可以提取出对侧红外发射管发射的红外信号。表 1 的整体结果说明本设计模块在外界光强为 51 200 lx 时可以正常工作。

从表 2 中可以看出,外界光强为 51 200 lx 时,当无遮挡时,每个接收通道都可以接收到较强的红外信号;当通道全都被遮挡时,每个接收通道都不能够接收到红外信号;当只有单一通道被遮挡时,只会减小当前遮挡通道的红外接收信号,而不对其他通道的红外接收信号造成影响,即遮挡通道的红外信号不会对其他通道产生串扰。

表 2 强光下信号接收测试结果表

Tab . 2 Results of signal receiving testunder the strong light

遮挡状况	通道 1 输出 量化值	通道 2 输出 量化值	通道 3 输出 量化值	通道 4 输出 量化值	通道 5 输出 量化值	通道 6 输出 量化值	通道 7 输出 量化值	通道 8 输出 量化值
无遮挡	0x8C	0x96	0xEC	0xC0	0xA8	0xAF	0x9E	0x99
通道 1 被遮挡	0x14	0x96	0xED	0xC0	0xA8	0xAF	0x9E	0x9A
通道 2 被遮挡	0x8D	0x14	0xEC	0xC0	0xA9	0xAF	0x9F	0x99
通道 3 被遮挡	0x8C	0x95	0x22	0xC1	0xA8	0xAE	0x9F	0x97
通道 4 被遮挡	0x8B	0x96	0xEB	0x1E	0xA7	0xAF	0x9E	0x96
通道 5 被遮挡	0x8C	0x96	0xEC	0xC2	0x19	0xB0	0x9B	0x99
通道 6 被遮挡	0x8F	0x9A	0xEA	0xBD	0xAA	0x1A	0x9D	0x9A
通道 7 被遮挡	0x8A	0x97	0xEC	0xC3	0xA9	0xAD	0x18	0x99
通道 8 被遮挡	0x8C	0x96	0xED	0xC1	0xAD	0xB1	0x9F	0x17
全部遮挡	0x14	0x16	0x22	0x1E	0x19	0x1B	0x18	0x16

4.3 并行扫描抗强光红外触摸屏模块的性能分析

传统的并行扫描抗强光红外触摸屏模块^[14]中,无源晶振的频率为 32.768 kHz,无源晶振稳定所需要的信号周期数为 16。UART 在等待无源晶振稳定时通信,缩短扫描周期。则单个检测单元占用的时间为 480 μ s。由于模块内部使用串行扫描的方式,则传统的抗强光并行扫描模块完成一次检测的时间为 3 840 μ s。在本论文中设计的并行扫描红外触摸屏模块,使用的无源晶振最小频率为 30.072 kHz,系统等待信号无源晶振稳定的最长时间为 532 μ s。通道切换时间为 5.5 μ s,AD 转换时间为 20 μ s,I2C 发送 8 个通道的检测值的时间为 110 μ s,通道刷新的时间为 112 μ s。由于本设计模块内部 8 个通道同时工作,Posc 5 根据通道中无源晶振的频率从高到底依次检测。

模块完成所有通道检测的时间为 552 μ s。I2C 在 Posc 5 等待无源晶振稳定时通信,缩短检测周期。则本模块的扫描周期为通道检测时间和通道刷新时间之和,其值为 664 μ s。表 3 为本论文设计的抗强光并行扫描模块与传统的无源晶振法抗强光模块之间的数据对比。表 4 为本论文设计模块与一般红外屏的性能对比表^[3]。

从表 3 中可以看出传统的红外触摸屏模块具有很高的抗强光能力,实现了红外触摸屏在强光干扰下的正常使用。但是受限于单个扫描通道的检测时间影响,使用传统无源晶振法的抗强光红外触摸屏难以满足触摸屏响应时间的要求。本论文在相同的抗强光干扰能力下,设计出减小扫描通道平均检测时间的并行扫描抗强光模块,提升了红外触摸屏的扫描速度,缩短了红外触摸屏的扫描周期。

从表 4 中可以看出本论文设计的并行扫描抗强光模块无论是抗强光能力还是扫描速度都优于一般的红外触摸屏。

表 3 本设计模块与传统模块性能对比表
Tab. 3 New module and traditional module performance comparison table

异同点	对比性能名称	传统无源晶振	本论文中并行扫描抗强光模块
		法抗强光并行扫描模块	行扫描抗强光模块
相同点	是否抗强光	是,抗强光能力>50 000 lx	
	抗强光原理	无源晶振滤波法	
	是否可扩展	是,可以通过多模块的连接扩大红外屏的尺寸	
不同点	相邻检测通道串扰的滤除方法	无法滤除	无源晶振滤波法
	同一时间工作的通道数目	1 个,模块内为串行扫描	8 个,模块内为并行扫描
	模块检测周期	3 840 μ s	664 μ s
	每个检测通道的平均检测时间	480 μ s	83 μ s
	适用范围	小尺寸,有强光干扰的外界环境	大尺寸,有强光干扰的外界环境

表 4 本设计模块与传统红外触摸屏性能对比表
Tab. 4 New module and traditional infrared screen performance comparison table

对比性能名称	本论文中并行扫描抗强光模块	一般红外触摸屏
抗强光能力	抗强光能力>50 000 lx	抗强光能力<10 000 lx
每个检测通道的平均检测时间	83 μ s	122 μ s
适用范围	大尺寸,有强光干扰的外界环境	大尺寸,无强光干扰的外界环境

5 结 论

本文从并行红外触摸屏的强光干扰问题和信号间的串扰问题入手,采用 8 种无源晶振作为红外发射信号的核心器件,调节发射信号的频率为无源晶振的串联谐振频率。使用 8 种无源晶振对接收信号选频,既滤除了强光干扰的低频信号,又滤除了管间串扰信号,提高了红外触摸屏的平均扫描速度,减小了抗强光红外触摸屏扫描周期,为并行扫描抗强光红外触摸屏提供了新方法。

参 考 文 献:

[1] 张伟,郭勇. 基于 ARM 的红外多点触摸屏设计[J]. 液晶与显示,2013,28(5):698-702.
Zhang W, Gou Y. The design of infrared multi-touch screen based on ARM [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystal And Displays*, 2013, 28(5): 698-702. (in Chinese)

[2] 李冬喆,陈国龙,黄子强. 红外触控屏的接收单元抗干扰新技术及其验证[J]. 液晶与显示,2014,28(2):252 .
Li D Z, Chen G L, Huang Z Q. New anti-jamming technology and verification of infrared touch screen receiver unit [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystal And Displays*, 2014, 28(2): 252. in Chinese)

[3] 张明. 抗强光干扰的高精度红外触摸屏设计与实现[D]. 成都:电子科技大学光电信息学院,2008:35-37,55.
Zhang M. The design and implementation of anti-light interference infrared touch module[D]. *Chengdu: University of Electronic Science And Technology of China*, 2008: 35-37, 55 (in CHinese)

[4] Ye X L. The infrared touch screen using polarizer parallel scanning system; 中国专利, CN101398734A[P]. 2009-4-1. (in Chinese)

[5] 张宏伟. 多触点抗强光红外触摸屏的设计与验证[D]. 成都:电子科技大学,2009:26.
Zhang H W. The design and verification of multi-touch and anti-light infrared screen[D]. *Chengdu: University of Electronic Science And Technology of China*, 2009: 26. (in Chinese)

[6] 董冠涛. 红外线感应电子白板的设计与实现[D]. 长春:吉林大学,2009:27-33.
Dong G T. Design and realization of electronic whiteboard based on infrared ray[D]. *Changchun: Jilin University*, 2009: 34-42. (in Chinese)

[7] 曾一雄. 基于 STM32 的抗强光多点红外触摸屏的设计与实现[D]. 成都:电子科技大学光电信息学院,2013:26-29.

- Zeng Y X. Design and realization of multi-touch and anti-light infrared screen based on STM32 [D]. Chengdu: University of Electronic Science And Technology of China, 2013: 26-29. (in Chinese)
- [8] 高晋占. 微弱信号检测[M]. 北京:清华大学出版社, 2011, 172-214.
- Gao J Z. *Detection of Weak Signals* [M]. Beijing: Qinghua University Press, 2011: (in Chinese)
- [9] 周烨. 基于锁相放大技术的抗强光干扰红外触控技术的研究[D]. 成都:电子科技大学, 2011: 27-45.
- Zhou Y. The research of anti-light infrared touch technology based on lock-in amplifier technology [D]. Chengdu: University of Electronic Science And Technology of China, 2011: 27-45. (in Chinese)
- [10] 冯致礼. 晶体滤波器[M]. 北京:宇航出版社, 1987: 488-501.
- Feng Z L. *Crystal Filter* [M]. Beijing: Yuhang Press, 1987 1987: 488-501. (in Chinese)
- [11] 李毅. 可扩展抗强光红外触控模块设计与实现[D]. 成都:电子科技大学, 2013: 23-35.
- Li Y. Design and implementation of scalable, anti-light interference infrared touch module[D]. Chengdu: University of Electronic Science And Technology of China, 2013: 23-35. (in Chinese)
- [12] 高吉祥. 高频电子线路[M]. 北京:电子工业出版社, 2003: 173-175.
- Gao J X. *High Frequency Circuit* [M]: Publishing House of Electronics Industry. 2003: 173-175. (in Chinese)
- [13] 赵声衡. 晶体振荡器[M]. 北京:科学出版社, 2008: 288-289.
- Zhao S H. *Crystal Oscillator* [M]. Science Press, 2008: 288-289. (in Chinese)
- [14] Li Y, Huang Z Q, Li G Y. Research of parallel data processing, anti-light interference infrared touch technology [C]. *Proceedings of International Conference on Advanced Computational Intelligence*, 2012, 11(18): 983-987.

作者简介:夏厚胤(1989—),男,安徽六安人,硕士研究生,主要从事光学工程红外与平板显示方面研究。E-mail: 137511342@qq.com