

手写绘画板



作者：杜隆生 、 吴可 、 谢刚

摘要:

本作品是基于覆铜板设计制作的手写绘图输入设备，设备用一根普通表笔连接到电路，表笔与铜板表面接触，检测表笔与铜箔的接触，并测量触点位置。基本原理是恒流源通过表笔输出到铜板，铜板四角连电阻接恒流源反馈端形成电桥。放大对角线差分信号，使用单片机做 AD 采集，进行曲线拟合得到坐标并显示，实现定位、绘图、写字的功能。

关键词:

覆铜板，手写绘图，差分放大，曲线拟合

Abstract:

Design of this device is based on copper-clad plate. In application, connect the multimeter test lead of the device to the circuit, then detect the contact between the test lead and the copper foil, thus measure and determine the accurate contact position.

The technical rationale behind the design is that four corners of the copper-clad plate connected to four resistors together with the reference port of constant current source form an electrical bridge. By applying curve fitting to the data processed by MCU and displaying them in the coordinate, the device supports positioning, drawing and writing.

Keywords:

Copper-clad Plate, Drawing, Differential Voltage Amplifier, Curve Fitting

目 录

1 设计任务与技术指标.....	1
1.1 设计任务.....	1
1.2 技术指标.....	1
1.2.1 基本要求.....	1
1.2.2 发挥部分.....	2
1.3 题目分析.....	2
2 方案比较.....	3
2.1 降压电源方案比较.....	3
2.2 恒流源方案比较.....	3
2.3 信号放大方案比较.....	4
3 系统硬件设计.....	6
3.1 系统的总体设计.....	6
3.1.1 设计思想.....	6
3.1.2 设计步骤.....	6
3.1.3 系统电路原理框图.....	7
3.2 模块电路的设计及参数计算.....	7
3.2.1 触摸板模块.....	7
3.2.2 DC-DC 模块.....	7
3.2.3 电源滤波模块.....	8
3.2.4 恒流源模块.....	9
3.2.5 差分放大模块.....	9
3.3 坐标点测量方法.....	10
3.4 发挥部分的设计与实现.....	11
3.4.1 低功耗设计.....	11
3.4.2 提高分辨率.....	11
4 系统软件设计.....	12
4.1 程序总体设计结构.....	12
4.2 部分源代码.....	12
5 系统测试.....	13
5.1 测试方案.....	13
5.2 测试环境.....	13
5.3 测试结果.....	13
5.3.1 基本要求测试.....	13
5.3.2 发挥部分测试.....	14
5.4 误差分析.....	14
6 附录.....	16
附录 1 部分源代码.....	16
附录 2 元器件清单.....	19
附录 3 操作说明.....	19

1 设计任务与技术指标

1.1 设计任务

利用普通 PCB 覆铜板设计和制作手写绘图输入设备。系统构成框图如图 1 所示。普通覆铜板尺寸为 15cm * 10cm，其四角用导线连接到电路，同时，一根带导线的普通表笔连接到电路。表笔可与覆铜板表面任意位置接触，电路应能检测表笔与铜箔的接触，并测量触点位置，进而实现手写绘图功能。覆铜板表面由参赛者自行绘制纵横坐标以及 6cm * 4cm（高精度区 A）和 12 cm * 8cm（一般精度区 B）如图中两个虚线框所示。

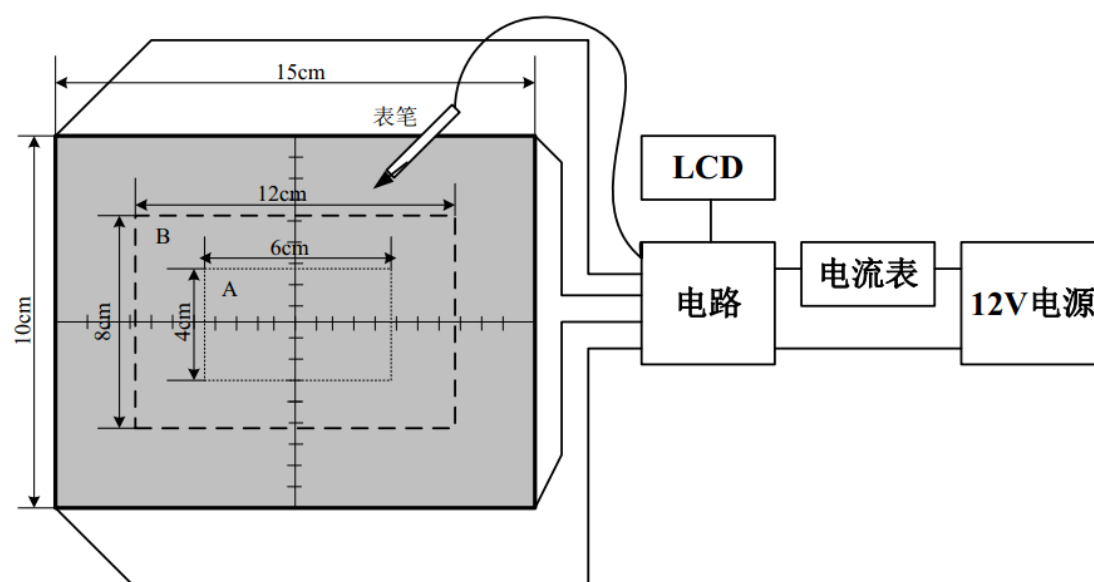


图 1 系统构成图

1.2 技术指标

1.2.1 基本要求

- （1）指示功能：表笔接触铜箔表面时，能给出明确显示。
- （2）能正确显示触点位于纵坐标左右位置。
- （3）能正确显示触点四象限位置。
- （4）能正确显示坐标值。

(5) 显示坐标值的分辨率为 10mm，绝对误差不大于 5mm

1.2.2 发挥部分

(1) 进一步提高坐标分辨率至 8mm 和 6mm；要求分辨率为 8mm 时，绝对误差不大于 4mm；分辨率为 6mm 时，绝对误差不大于 3mm。

(2) 绘图功能。能跟踪表笔动作，并显示绘图轨迹。在 A 区内画三个直径分别为 20mm，12mm 和 8mm 不同直径的圆，并显示该圆；20mm 的圆要求能在 10s 内完成，其它圆不要求完成时间。

(3) 低功耗设计。功耗为总电流乘 12V；功耗越低得分越高。要求功耗等于或小于 1.5W。

(4) 其他。如显示文字，提高坐标分辨率等。

1.3 题目分析

普通规格的覆铜板电阻十分低，大概为几毫欧，很难直接对其进行测量电压或电流，所以必须对毫欧电阻的电压或电流值进行放大，之后再对放大后的信号进行处理。故我们可以给覆铜板输入一个恒流信号，四角连电阻接地形成电桥，将对角线的电压进行差分放大。另外，差分信号放大后，如何确定表笔在覆铜板上的坐标值是一个问题。因此，应该将铜板的物理坐标值和所测到的信号值进行相关对应，即可解决覆铜板坐标定位的问题。进行合理的数学建模就可以达到覆铜板坐标定位甚至是绘图的功能。

2 方案比较

2.1 降压电源方案比较

方案一：利用线性电源，将 12V 电源输入转成 3V 输出，给整个系统供电。线性电源特点是性能稳定，没有辐射和纹波等干扰。而线性电源的最大缺点就是效率很低，大概只有 30~40%。因此对于要求低功耗的系统来说，线性电源不太可取。

方案二：利用开关电源，将 12V 电源输入转成 3V 输出，给整个系统供电。开关电源特点是体积小、重量轻：由于没有工频变压器，所以体积和重量只有线性电源的 20~30%；功耗小、效率高：功率晶体管工作在开关状态，所以晶体管上的功耗小，转化效率高，一般为 70~90%而线性电源只有 30~40%。然后开关电源的缺点是输出纹波较大。

比较方案一和方案二，对于低功耗系统来说，开关电源显然优势明显，我们可以利用电源滤波器与屏蔽罩来防止电源干扰，不影响系统的性能。因此，我们选用 DC-DC 开关电源对 12V 电源进行降压。

2.2 恒流源方案比较

方案一：运算放大器+三极管，基本电路图如下

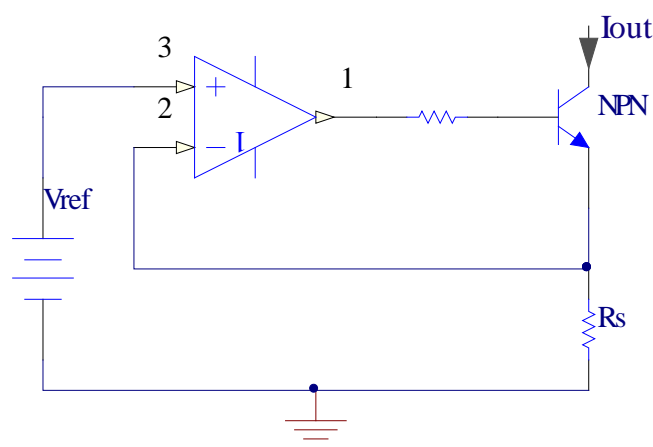


图 2 运算放大器+三极管构成的恒流源

以上是用运算放大器+三极管构成的恒流源，具有输出电流精度高的特点，

另外，该电路对三极管的最大功率有一些要求，当输出电流很大时，三极管的功率也会很大，因此需要选用功率较大的三极管。

方案二：并联稳压器+三极管，基本电路如下

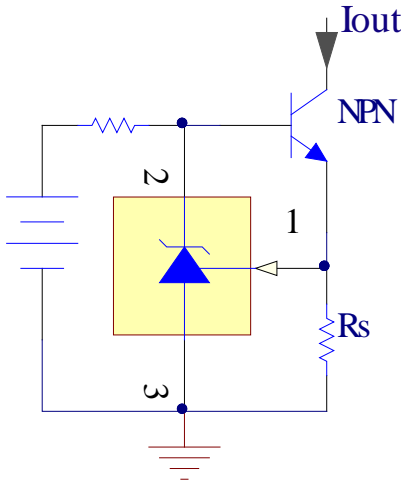


图 3 并联稳压器+三极管构成的恒流源

以上是用并联稳压器+三极管构成的恒流源，具有电路简单并且输出电流精度高的特点，这是使用运放与 V_{ref} (2.5V) 一体化的并联稳压器电路，这种电路的 V_{ref} 高达 2.5V。

方案二电源利用范围较窄，效率低，功耗大。所以最终选用方案一。

2.3 信号放大方案比较

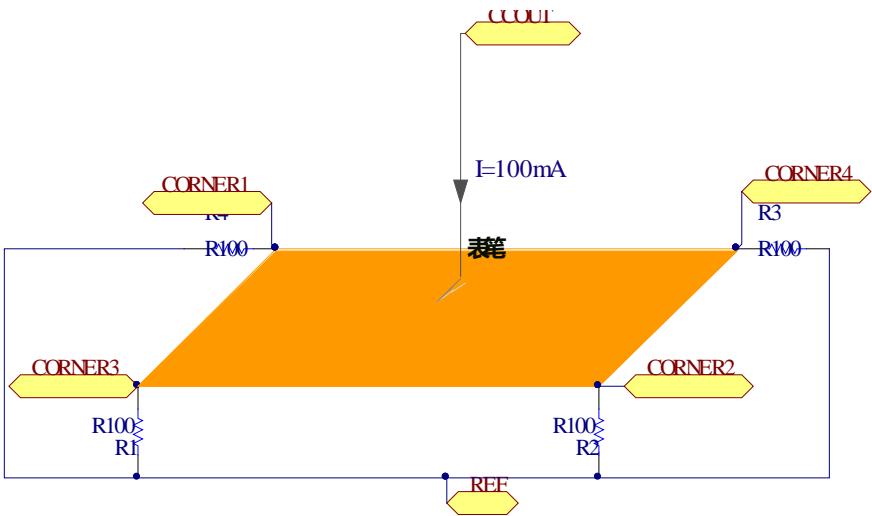


图 4 使用覆铜板制作的触摸板模块

方案一：使用放大器对四角电信号做放大：

此方案获得数据多但是难以拟合，函数不能直观展示，并且受共模电压影响大，电路较为复杂，使用器件更多功耗更大。

方案二：使用放大器对对角电信号做差分放大：

可以使用 CMRR 大的放大器，数据拟合为三维图像可以直观观察数据与拟合效果，电路简单，功耗小，可使用单片仪表放大器提供偏置抬高电平直接采集。

所以最终选择方案二。

3 系统硬件设计

3.1 系统的总体设计

3.1.1 设计思想

本系统是一个低功耗的识别系统，设计思想符合如下几条标准：

1. 系统识别分辨率尽可能的高。
2. 系统设计功耗尽可能低。
3. 系统硬件电路模块化，便于硬件测试和电路查询。
4. 系统程序设计模块化，便于系统功能的各种组合和修改。

3.1.2 设计步骤

1. 对于低功耗系统，12V 电源输入确定的话，要有效的降低功耗，可以使用高效率转换的 DC-DC 开关电源降压到 3V, 输出电流 100mA, 在保证较高的分辨率前提下，达到降低功耗的效果。
2. 开关电源具有纹波较大的缺点，放大后会影响测量的信号，必须将其滤去，所以必须对开关电源进行滤波。
3. 对覆铜板注入 100mA 的电流达到测量定位的目的，则需要利用 3V 电压设计制作 100mA 的恒流源。
4. 对差模信号的放大需要用到差分放大器，所以要设计具有高共模抑制比高增益的仪表放大器。
5. 由于系统要求低功耗，各种元件和电路都必须保证具有高效率，低功耗的特点。

3.1.3 系统电路原理框图

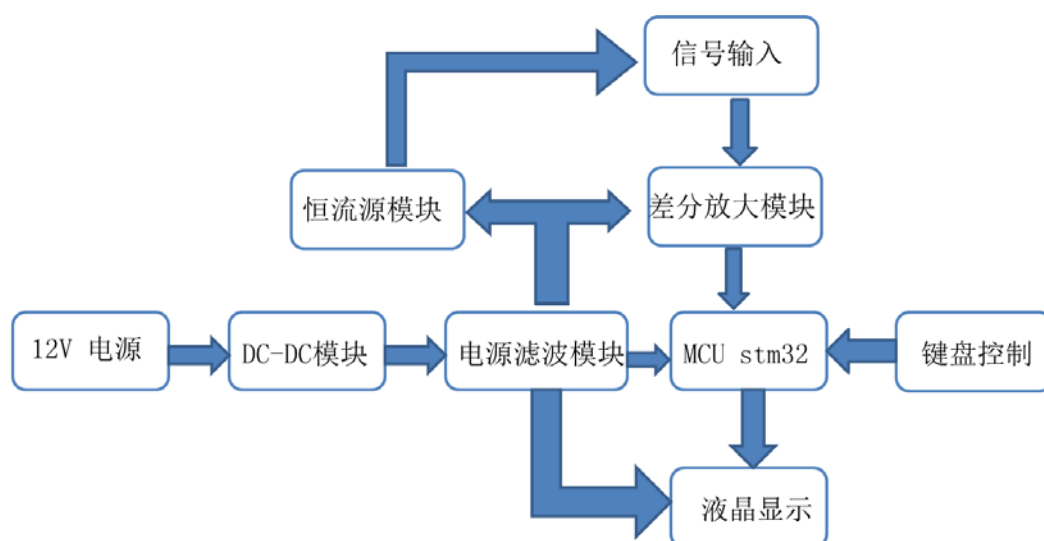


图 5 系统电路原理框图

3.2 模块电路的设计及参数计算

3.2.1 触摸板模块

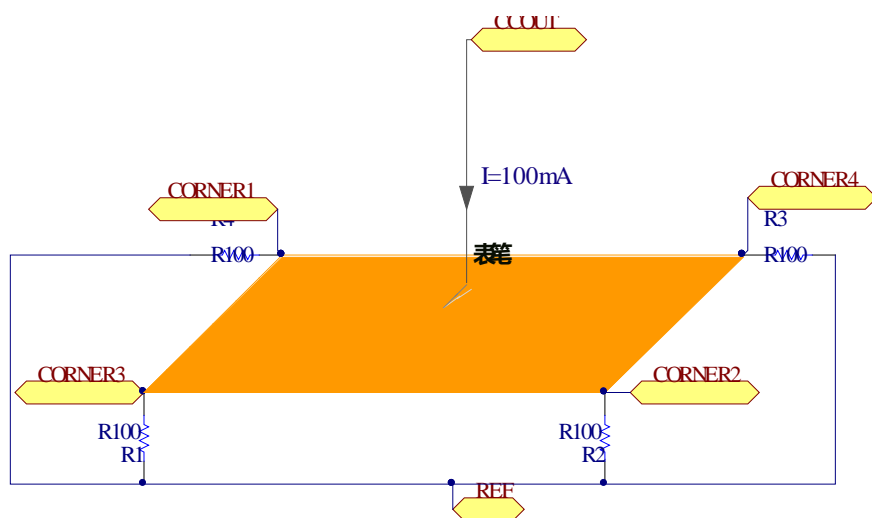


图 6 触摸板模块电路

触摸板四角连 100mΩ 电阻接反馈端，形成电桥。

3.2.2 DC-DC 模块

电源降压模块使用 DC-DC 模块，原理图如下。

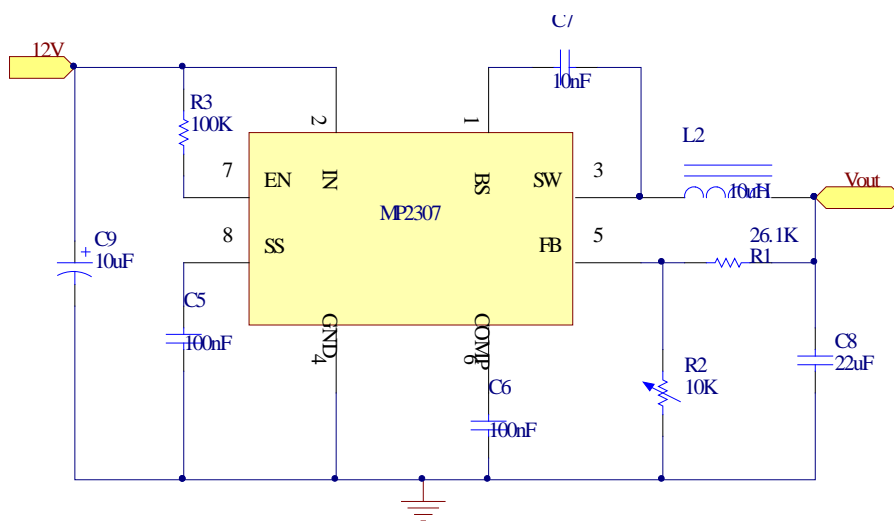


图 7 DC-DC 电路

使用上述 DC-DC 降压模块, 可以将输入 12V 稳定到 3V 输出, 理论效率为 80%, 纹波达到了 $80\text{mV}_{\text{p-p}}$ 。由此可见对电源滤波是十分必要的。

3. 2. 3 电源滤波模块

滤波模块使用 π 型滤波器, 原理图如下:

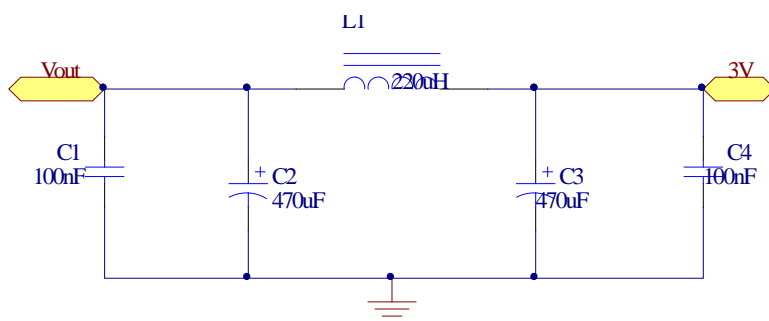


图 8 π 型滤波

利用 π 型滤波可以有效的滤去一部分电源纹波, 经测试, 滤波后电源纹波电压下降到 10mV 以内, 不影响系统性能。

3.2.4 恒流源模块

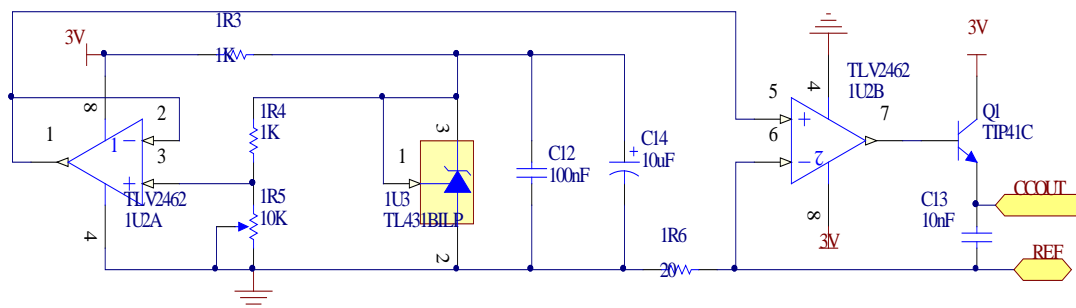


图 9 恒流源模块

恒流源用的是 TLV2462 低功耗，轨对轨输入输出的运算放大器，极大的降低了功耗，输出电流为 $I_{out} = V_{ref}/R_1 = 100mA$ 。其中 V_{ref} 由 TL431 输出分压提供。

3.2.5 差分放大模块

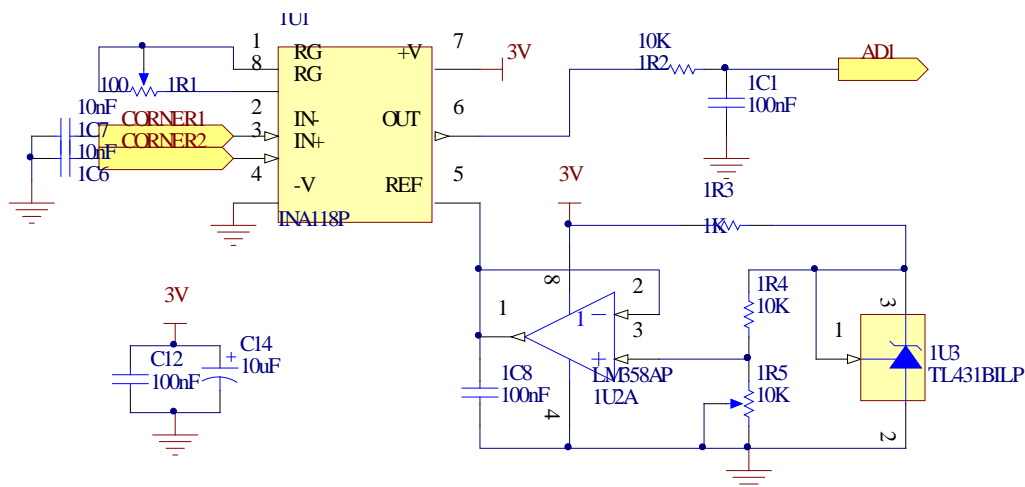


图 10 差分放大模块

差分放大模块是利用仪表放大器所搭建的模块，用于放大覆铜板对角线之间的差模信号。由 TL431 提供基准源抬高输出电位，调节 1R1 的阻值来调整放大增益，1R1 越小，放大倍数越大。差分放大模块有两块，分别放大两路不同的对角线差分信号。

3.3 坐标点测量方法

取样：用两路差分放大器分别放大覆铜板两对角线上两端电阻电压的差，分别采集这两路电压差的 AD 值，分别记为 m，n。同时记下该点的坐标 (x, y)，如此取样若干个点。

建模：对取样回来的 m 和 n 进行曲线拟合，先用 m、n、x 的值拟合 x 与 m、n 的关系曲线，再利用 m、n、y 的值拟合 y 与 m、n。确定 x 与 m、n 直接的方程，y 与 m、n 直接的方程，那么就可以通过 m、n 的值算出点的坐标。

使用 Mathematica 和 TableCurve 3D 进行曲线拟合：

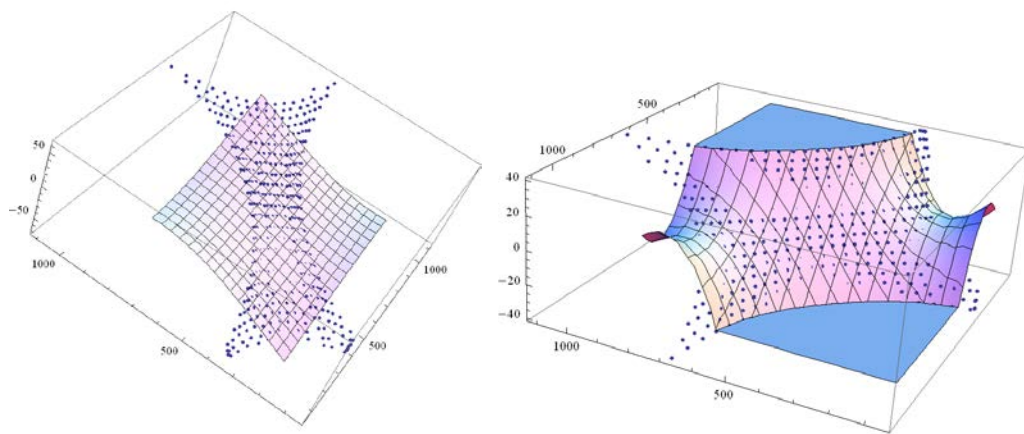


图 11 曲线拟合结果

得到拟合方程如下：

$$x = -95.31087943843761 + n * 0.07597067658515537 + m * 0.1168520875858519$$

公式 3-1

$$y = 8.047888444261000 + n * (-0.5293315461329888 + n * (0.001242075511495922 + n * (9.156295036539717E-07))) + m * (0.4719920364562546 + m * (-0.001907597312357372 + m * (-4.470798421248502E-07))) + n * m * (0.0006749191451505350 + m * (5.169023053620864E-06) + n * (-5.566745624330738E-06))$$

公式 3-2

3.4 发挥部分的设计与实现

3.4.1 低功耗设计

功耗为电流与电压的乘积，所以在一定功耗情况下，降低工作电压可以获得更多的电流以供支配，所以我们使用高效 DC-DC 降压模块将 12V 转化为 3V 给整个系统供电，使用轨对轨运放可以实现低电压下的恒流源。并且精选低功耗元器件比如微功耗的仪表放大器和运算放大器。使用 STM32 单片机配合低功耗的液晶显示屏作为控制器和显示设备，并且尝试在没有笔触的时候将单片机进入休眠模式，但是因为会影响到 AD 采集所以没有使用。

通过优化可以将总功耗限制在 700mW 左右。

3.4.2 提高分辨率

我们使用了增益调节方便且具有高共模抑制比的仪表放大器做差分放大，单片增益可达上千倍，并且使用专业的曲线拟合软件 Mathematica 和 TableCurve 3D 进行最优曲线拟合，切合程度可达 99.9% 以上。这样就可以更真实的反应 AD 值与坐标的对应关系，并且极大地提高了分辨率。

4 系统软件设计

4.1 程序总体设计结构

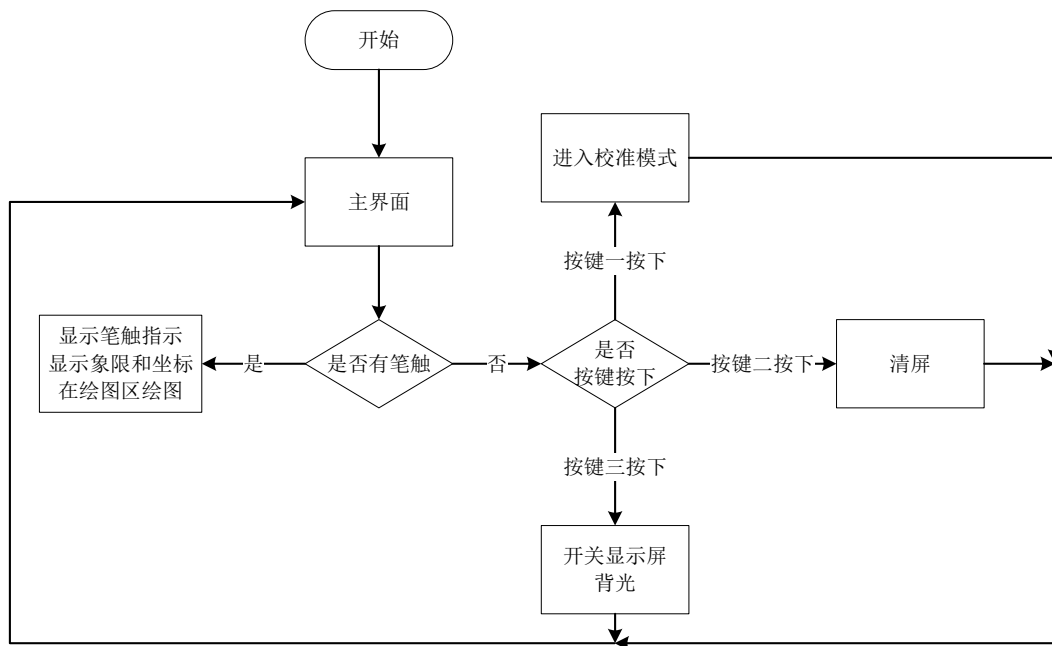


图 12 程序流程图

4.2 部分源代码

见附录 1。

5 系统测试

5.1 测试方案

在覆铜板表面用铅笔画好坐标，作为识别标准，用液晶屏显示当前表笔所在的坐标，为测量值。测量值与标准值进行比较，得到误差，然后进行误差分析。

5.2 测试环境

直流稳压源输出 12V 型号：GWinstek GPS-4303C

5.3 测试结果

5.3.1 基本要求测试

1. 指示功能：表笔接触铜箔表面时，能给出明确显示。
 2. 能正确显示触点位于纵坐标左右位置。
 3. 能正确显示触点四象限位置。
 4. 能正确显示坐标值。
 5. 显示坐标值的分辨率为 10mm，绝对误差不大于 5mm
- 经过测试，上述基本要求都达到。

5.3.2 发挥部分测试

在 A 区进行坐标测量，得出下表：

表 1 测量数据表

测量值	标准值	X 轴误差	Y 轴误差
(0, 0)	(0, 0)	0	0
(5, 1)	(5, 0)	0	1
(10, -1)	(10, 0)	0	1
(-10, 0)	(-10, 0)	0	0
(16, 1)	(15, 0)	1	1
(0, 6)	(0, 5)	0	1
(0, -4)	(0, -5)	0	1
(1, 10)	(0, 10)	1	0
(15, 20)	(15, 20)	0	0
(10, 20)	(10, 20)	0	0
(22, 5)	(20, 5)	2	0
(-20, -5)	(-20, -5)	0	0
(-29, -10)	(-30, -10)	1	0
(-29, -19)	(-30, -20)	1	1
(30, 20)	(30, 20)	0	0

从表中可以看出坐标分辨率为 2mm，达到题目要求。

5.4 误差分析

由上述数据可知，对坐标的测量存在 1~2mm 的误差。经过连接示波器，看输出值的变化，我们发现当信号线抖动的时候，放大的信号变化很大，尤其是在开关电源附近运动时。因此，我们猜想可能是开关电源产生的噪声是交变的，从而产生了磁场，当磁场穿过导线形成回路的时候产生电流，对信号有强烈的干扰。于是我们将开关电源用铁盒屏蔽起来，并且远离信号线，发现信号的变化小很多，确实应该是开关电源噪声的影响。

另外，除了开关电源的影响，外界的电磁干扰对信号的影响也特别大，比如在覆铜板附近打电话，使用对讲机等，都会对信号有很大的影响。因此，我们将信号线用同轴线代替杜邦线，表笔裹上一些锡箔纸，起到一定的屏蔽作用。

最后还有就是覆铜板的电阻分布不均匀，氧化而引起电阻阻值的变化，这个变化是无法避免的，所以测量上会有误差是很正常的，可以在软件上做相应的优化，可以降低误差。当使用时间比较长时，利用校准算法，将采回来的数据进行校准处理，达到有效的减小测量误差。

6 附录

附录 1 部分源代码

```
int main(void)
{
    SystemInit();
    delay_init(72);
    NVIC_Configuration();
    uart_init(115200);
    Adc_Init();
    KEY_Init();
    LCD_SET_Init();

    while(1)
    {
        touch_adc=Get_Adc(ADC_Channel_3);

        if(touch_adc>2000)
            touch_flag=1;
        else
            touch_flag=0;

        key_number=KEY_Scan();
        if(key_number==1)
            jiaozhun();
        if(key_number==2)
        {
            if(light==50)
                light=0;
            else
                light=50;
            SetBackLight(light);
        }
        if(key_number==3)
        {
            ClrScreen();
            Rectangle(33, 11, 94,52, 0);
        }
    }
}
```

```

        PutChar(110,5,'X');
        PutChar(110,37,'Y');
    }
    if(touch_flag==1)
    {
        PutChar_cn(10,5,"是");
        Get_XY();
        X_filter[filter_num]=XX;
        Y_filter[filter_num]=YY;
        filter_num++;
        if(filter_num==5)
        {
            filter_done=1;
            qsort (X_filter, 5, sizeof(float), compare);
            qsort (Y_filter, 5, sizeof(float), compare);
            XX=(X_filter[1]+X_filter[2]+X_filter[3])/3;
            YY=(Y_filter[1]+Y_filter[2]+Y_filter[3])/3;
            filter_num=0;
        }
        else
            filter_done=0;

        if(filter_done==1)
        {
            X=(int)(XX)+const_X;
            Y=(int)(YY)+const_Y;

            draw_x=63+X;
            draw_y=31+Y;
            draw_y=63-draw_y;

            if((draw_x>33&&draw_x<94)&&(draw_y>11&&draw_y<52))
                PutPixel(draw_x,draw_y);

            if(X>0&&Y>0)
            {
                PutChar_cn(10,26,"右");
                PutChar_cn(10,47,"—");
                PutChar(98,16,'+');
                PutChar(98,48,'+');
                delay_ms(1);
                ShowChar(105,16,X,0);
                delay_ms(1);
            }
        }
    }
}

```

```

        ShowChar(105,48,Y,0);
    }
    else if(X<0&&Y>0)
    {
        PutChar_cn(10,26,"左");
        PutChar_cn(10,47,"二");
        PutChar(98,16,'-');
        PutChar(98,48,'+');
        delay_ms(1);
        ShowChar(105,16,(-1*X),0);
        delay_ms(1);
        ShowChar(105,48,Y,0);
    }
    else if(X<0&&Y<0)
    {
        PutChar_cn(10,26,"左");
        PutChar_cn(10,47,"三");
        PutChar(98,16,'-');
        PutChar(98,48,'-');
        delay_ms(1);
        ShowChar(105,16,(-1*X),0);
        delay_ms(1);
        ShowChar(105,48,(-1*Y),0);
    }
    else if(X>0&&Y<0)
    {
        PutChar_cn(10,26,"右");
        PutChar_cn(10,47,"四");
        PutChar(98,16,'+');
        PutChar(98,48,'-');
        delay_ms(1);
        ShowChar(105,16,X,0);
        delay_ms(1);
        ShowChar(105,48,(-1*Y),0);
    }
    else ;
}

}

}

}

```

附录 2 元器件清单

表 2 元器件清单

名称	参数	个数
覆铜板	10cm*15cm	1
洞洞板	12cm*15cm	2
仪表放大器	INA118PB	2
运算放大器	LM358	3
运算放大器	TLV2462	1
三极管	TIP41C	1
基准源	TL431	3
单片机核心板	STM32	1
液晶显示屏	MZLH04	1
DC-DC 降压模块	MP2307	1
万用表表笔	30cm	1
电阻	1k Ω , 10k Ω 等	若干
电容	10nF, 100nF, 470uF 等	若干
电感	220uH 等	若干
电位器	100k Ω , 10k Ω , 100 Ω	若干
导线	同轴线, 杜邦线等	若干

附录 3 操作说明

本作品使用+12V 单电源供电，最大工作电流 60mA。负极接线处缠有黑胶带。

请注意：切勿将正负极接反；铜板不宜长时间暴露在湿度较大的空气中；笔触时不要用力过大以免损坏覆铜板。

通电后显示主界面：

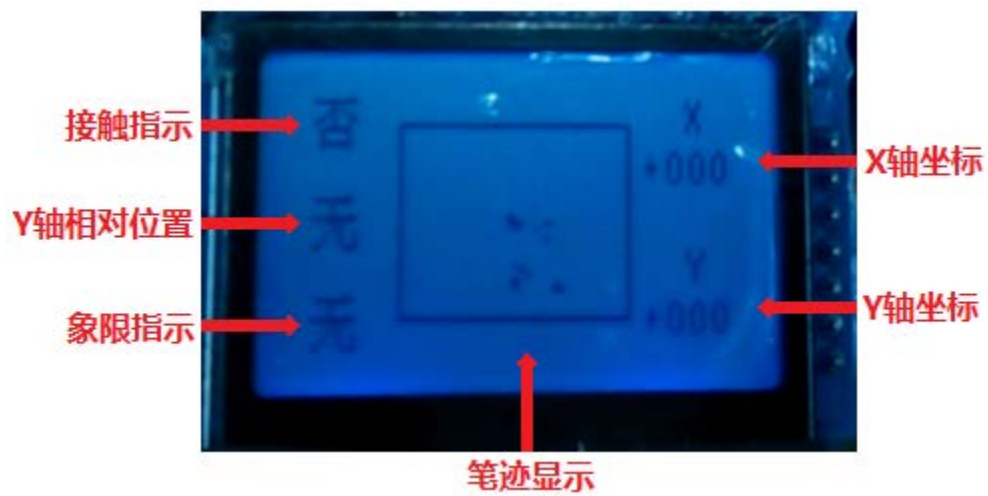


图 13 作品主界面

作品有四个功能按键：



图 14 作品按键功能

通电后使用笔尖轻触铜板，可以在屏幕上看到接触指示、坐标、象限、笔迹等信息。

如果坐标出现偏移，请单击校准按键进入校准模式并笔触物理原点：

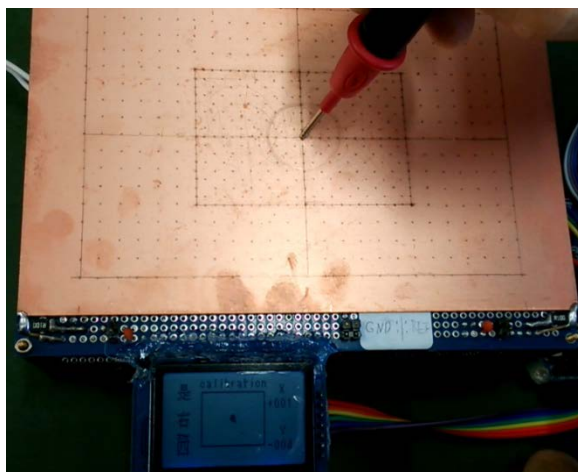


图 15 校准方法（1）

笔尖点击原点不动，再次点击校准按键进行校准：

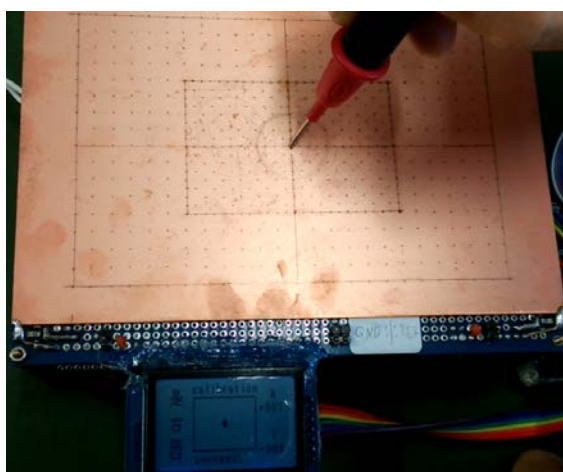


图 16 校准方法（2）

校准完成后清屏开始使用。

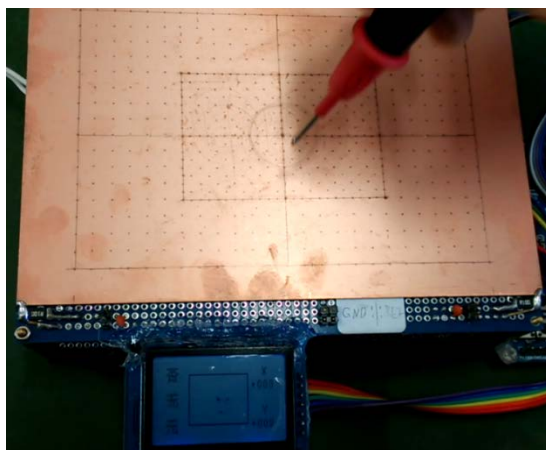


图 17 正常使用