



电磁巡线传感器开发手册

东莞市微宏智能科技有限公司

公司淘宝店铺: minibalance.taobao.com

公司官网: www.minibalance.com

公司论坛: bbs.minibalance.com

推荐关注我们的公众号



版本说明:

版本	日期	内容说明
V1.0	2020/05/08	第一次发布



目录

东莞市微宏智能科技有限公司	1
1. 概述	3
2. 磁场感应	4
2.1. 导线周围的磁场强度	4
2.2. 电磁感应	4
2.3. 导线通 20Khz 的交变电流	5
2.4. 三个水平感应线圈判断偏离导线	6
3. 磁场选频	12
4. 放大感应电流	14
5. 感应电流整流为直流	16
6. AD 采集直流电压	17
6.1. 采集效果	17
6.2. 电磁巡线传感器与 STM32 接线	19
6.3. ADC 采集程序	20



1. 概述

电磁巡线传感器的原理可以分为 5 个部分，磁场感应部分、电压选频部分、放大电路部分、检波整流部分、AD 采集部分。

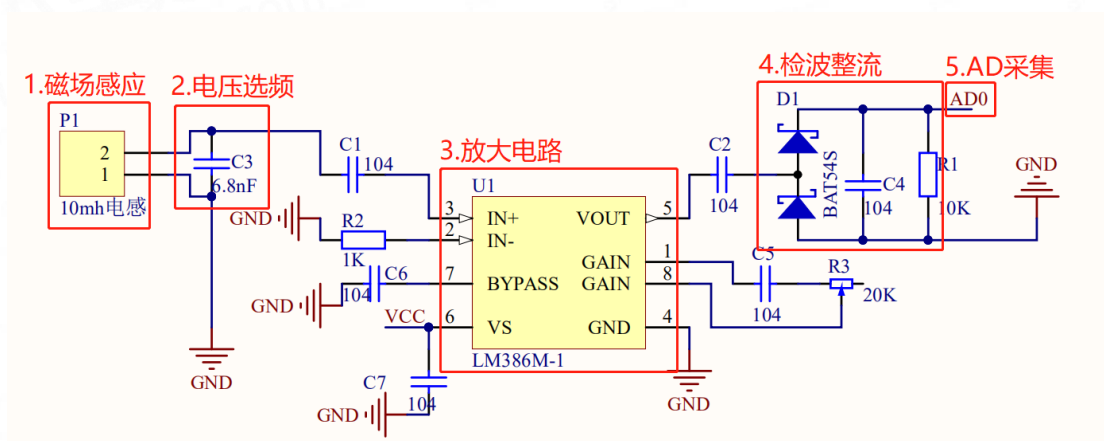


图 1-1 电磁巡线传感器流程图



2. 磁场感应

2.1. 导线周围的磁场强度

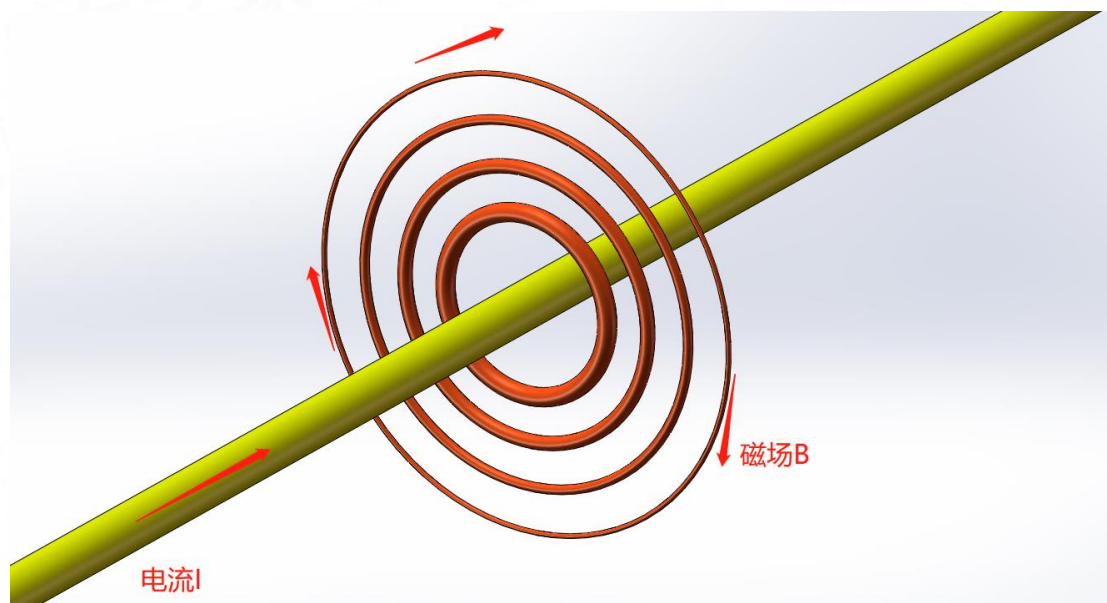


图 2-1 导线周围的磁场

对于无限长度直导线来说，导线周围的磁场强度与通过导线的电流大小 I 成正比，与距离导线中心的半径 r 成反比， $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r}$

($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{TmA}^{-1}$)。

2.2. 电磁感应

根据法拉第电磁感应原理，放在变化磁通量中的导体，会产生电动势 E 。以电磁感应线圈为例，磁通量与磁场强度 B 、电磁线圈的圈数 N 、线圈截面积 A 有关， $E = (NA) \times (\mu_0 \mu_r) \frac{dB(t)}{dt}$ 。



2.3. 导线通 20Khz 的交变电流

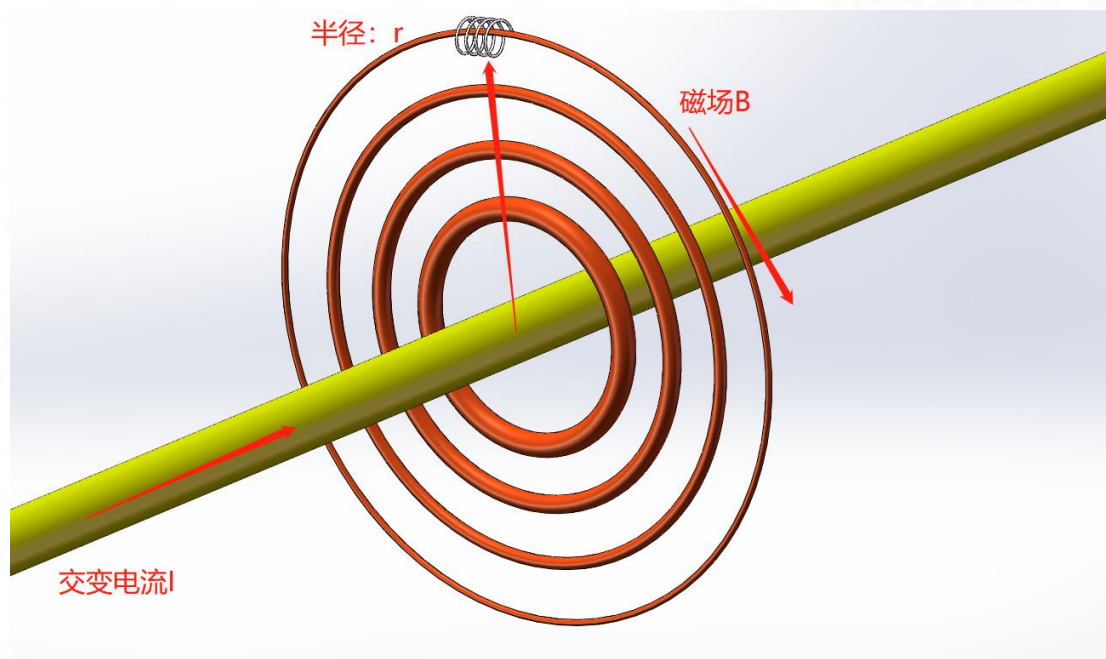


图 2-2 导线通 20Khz 的交变电流

导线通频率为 20Khz 的交变电流时，可以知道在导线半径 r 处的磁场也以 20Khz 的频率变化着，电磁感应线圈将产生频率同为 20Khz 的交变电动势，同时半径 r 越大，有效感应电动势越小，因为离导线越远，磁场强度越弱，磁通量变化越小。



2.4. 三个水平感应线圈判断偏离导线

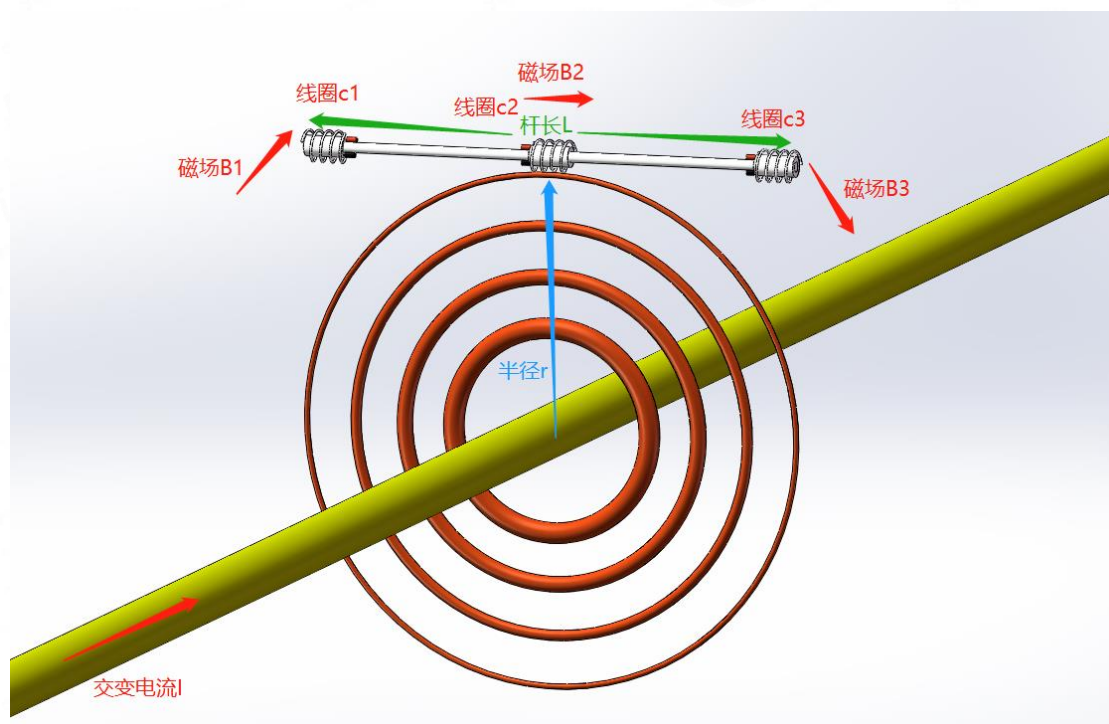


图 2-3 三个水平感应线圈

如三个感应线圈在同一截面水平放置时，可以看见磁场 B_1 、 B_3 相比磁场 B_2 离导线更远，所以 $B_1=B_3<B_2$ ，所以线圈 c_1 、 c_3 产生的感应电动势相比 c_2 也更小。

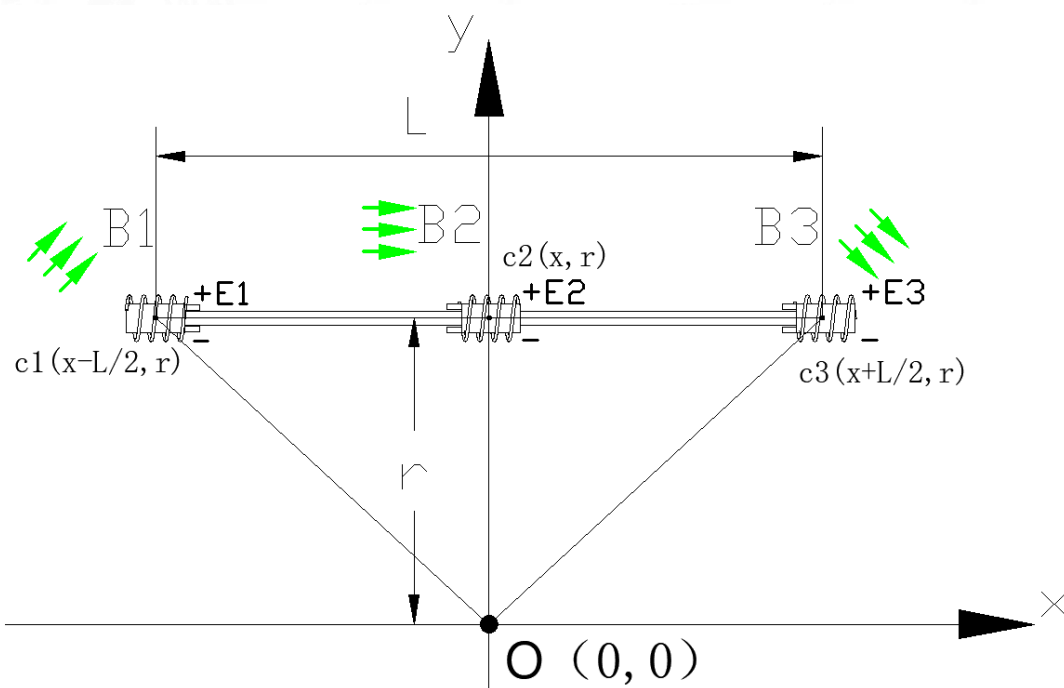


图 2-4 三个水平感应线圈坐标图

因为磁场强度与到导线的距离成反比，则可以求得磁场 B_1 、 B_2 、 B_3 的强度比值。设杆长为 $L=200\text{mm}$ ，其两端和中间分别有一个线圈，杆中心离导线距离为 $r=50\text{mm}$ ，如图 2-4 所示，建立坐标系， x 的取值范围为 $[-100, 100]$ ， c_2 坐标为 (x, r) ，则 c_1 坐标为 $(x-\frac{L}{2}, r)$ ， c_3 坐标为 $(x+\frac{L}{2}, r)$ ，设 $x=0$ 时， B_2 处的磁场强度为 B_0 ，感应电动势为 E_0 。

可计算得三处磁场强度与 B_0 之比：
$$\frac{B_1}{B_0} = \sqrt{\frac{r^2}{(x-\frac{L}{2})^2 + r^2}},$$

$$\frac{B_2}{B_0} = \sqrt{\frac{r^2}{x^2 + r^2}}, \quad \frac{B_3}{B_0} = \sqrt{\frac{r^2}{(x+\frac{L}{2})^2 + r^2}}.$$

$$\text{则 } B_1 = \sqrt{\frac{r^2}{(x-\frac{L}{2})^2 + r^2}} B_0, \quad B_2 = \sqrt{\frac{r^2}{x^2 + r^2}} B_0, \quad B_3 = \sqrt{\frac{r^2}{(x+\frac{L}{2})^2 + r^2}} B_0.$$

$$E_1 = \sqrt{\frac{r^2}{(x-\frac{L}{2})^2 + r^2}} E_0, \quad E_2 = \sqrt{\frac{r^2}{x^2 + r^2}} E_0, \quad E_3 = \sqrt{\frac{r^2}{(x+\frac{L}{2})^2 + r^2}} E_0.$$



将式 $E_2 = \sqrt{\frac{r^2}{x^2 + r^2}} E_0$ 用坐标表达出来如下图 2-5 所示，可以发现如果只使用 1 个线圈，则只能根据感应电动势的大小判断杆偏离导线的远近程度，而不能判断偏离的方向。

将式 $E_1 = \sqrt{\frac{r^2}{(x - \frac{L}{2})^2 + r^2}} E_0$ 、 $E_3 = \sqrt{\frac{r^2}{(x + \frac{L}{2})^2 + r^2}} E_0$ 用坐标表达出来如下

图 2-6、图 2-7 所示，由于线圈 c1、c3 安装位置分别偏左、偏右了 100mm，所以其对称轴也分别偏右、偏左了 100mm，但是依然是偶函数。

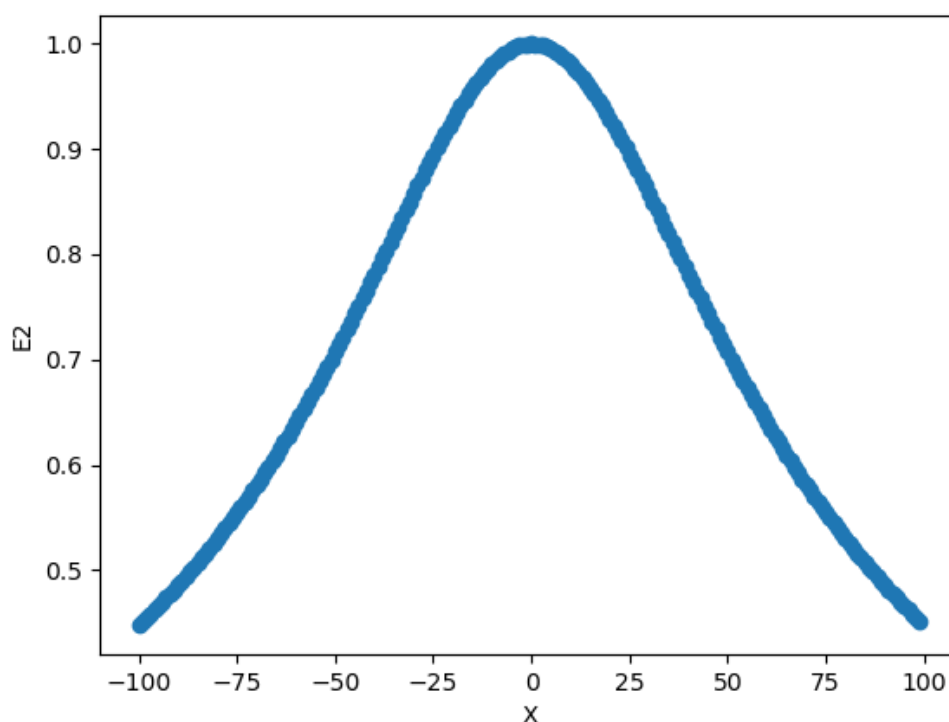


图 2-5 E2 与 x 的关系

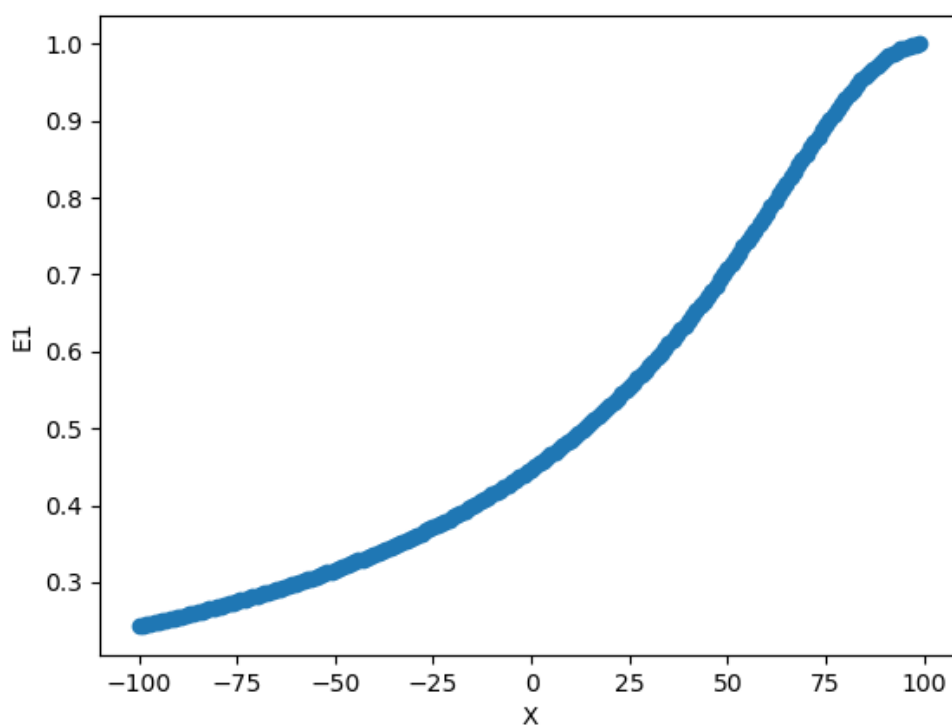


图 2-6 $E1$ 与 x 的关系

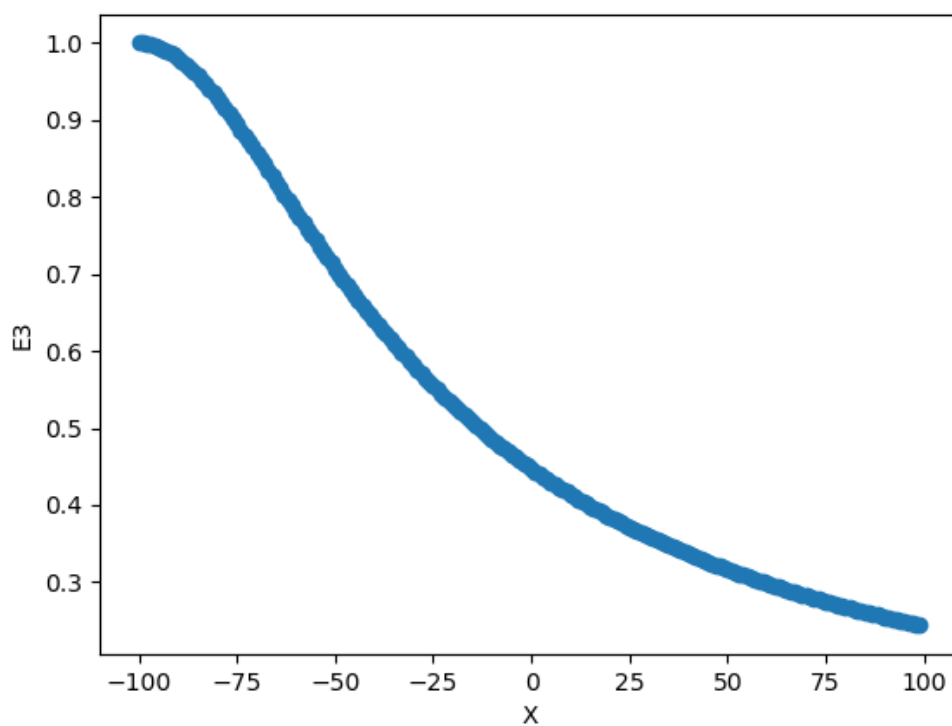


图 2-7 $E3$ 与 x 的关系



由于只使用 1 个线圈无法判断偏离导线的方向，所以我们使用 3 个线圈，建立公式：

$$\begin{aligned} E_{\text{SumSelfDiv}} &= \frac{E_{\text{Sum}}}{E_1 + E_2 + E_3} \\ &= \frac{199 \times E_1 + 100 \times E_2 + 1 \times E_3}{E_1 + E_2 + E_3} \\ &= \frac{199 \times \sqrt{\frac{50^2}{(x-100)^2 + 50^2}} E_0 + 100 \times \sqrt{\frac{50^2}{x^2 + 50^2}} E_0 + 1 \times \sqrt{\frac{50^2}{(x+100)^2 + 50^2}} E_0}{E_1 + E_2 + E_3} \end{aligned}$$

根据公式 $E_{\text{SumSelfDiv}} = \frac{E_{\text{Sum}}}{E_1 + E_2 + E_3}$ 绘制坐标图，如图 2-8 所示可以发

现 E_{sum} 与杆中心坐标 x 相关为单调递增。即 x 值越大， E_{sum} 值越大，杆越偏右。由此可以判断杆偏离导线的程度。同时该公式也对结果进行了归一化的处理，使结果值限制在 0-200 之间。坐标图中在 $x=-100$ 和 $x=100$ 时 y 值没有分别达到 0 和 200，是因为按公式算 $x=-100$ 时 E_1 、 E_2 还没接近于 0，而实际中此时感应电动势 E_1 、 E_2 已经接近于 0 了。

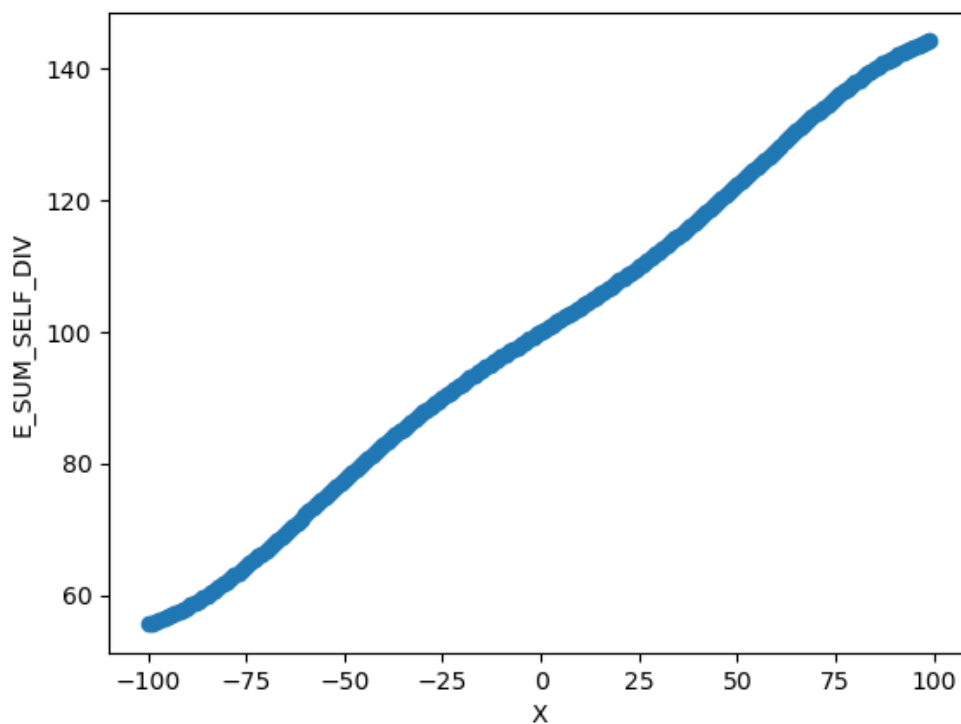


图 2-8 Esum_self_div 与 X 的关系



3. 电压选频

在现实环境中，存在很多不同频率、不同强度的磁场，感应线圈会感应到这些环境磁场产生相应的感应电动势，使感应线圈对导线电流的感应效果产生很大影响，从而降低我们对导线位置的判断精度。

典型环境磁场频率及强度范围		
磁场环境	磁场频率	磁场强度（高斯）
家用电器周围一米范围	50Hz	10^{-3} – 10^{-2}
工业电机和电缆周围十米范围	50Hz	1–100
长波通讯	>30kHz	10^{-6} – 10^{-3}
赛道中心导线周围 0.5 米范围	20kHz	10^{-4} – 10^{-2}

表 3-1 典型环境磁场频率及强度范围

从上表可以发现，20kHz 的磁场频率可以有效地与环境磁场区分出来。

接下来使用 RLC 并联谐振电路对感应电动势进行选频，感应线圈我们使用 10mH 电感元件，需要的频率为 20kHz，由电路谐振频率公式 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 得，

$$C = \frac{1}{(2\pi \times f)^2 \times L} = \frac{1}{(2\pi \times 20 \times 10^3)^2 \times 10 \times 10^{-3}} = 6.33 \times 10^{-9} (F) = 6.8 \text{nf}。$$

从购买方便和成本方面考虑，我们选择了市面上可以直接买到的 6.8nf 电容作为实际使用电容。

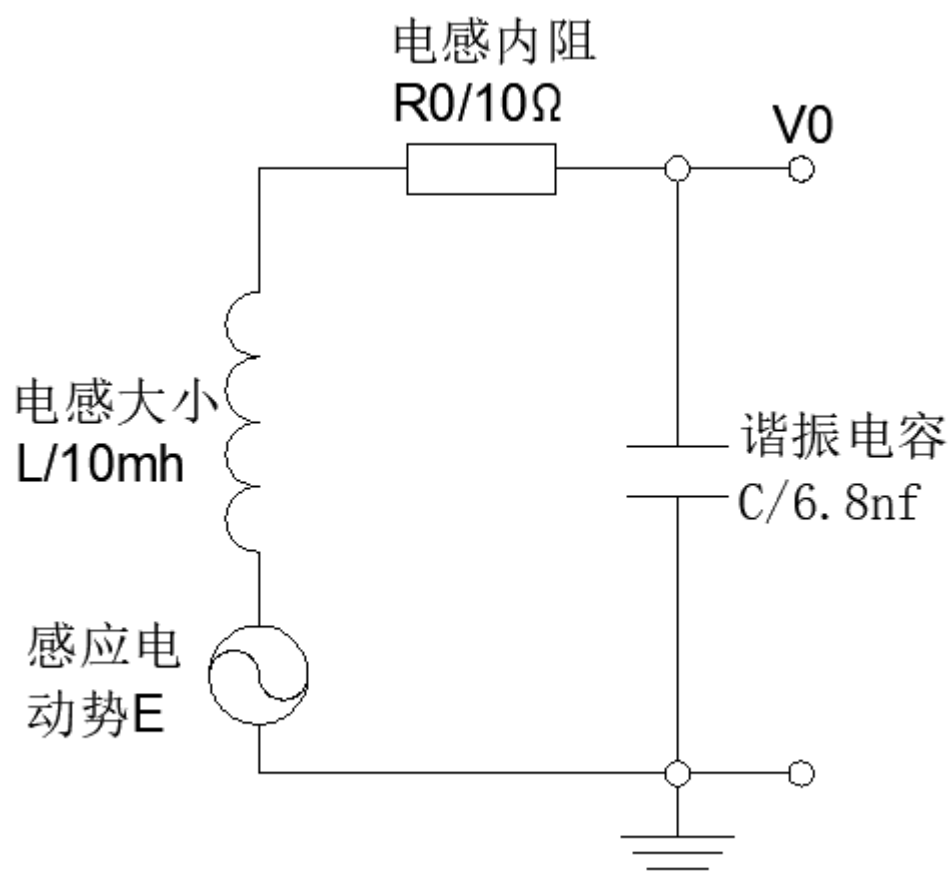


图 3-1 谐振电路



4. 放大电路

感应线圈产生的感应电动势峰峰值一般只有 10mv~500mv，所以我们一般将其经过放大电路放大后在进行读取观察。

可以使用一阶共射三极管放大电路、运算放大器进行放大，也可以使用音频功率放大器 LM386 进行放大，最后我们选择了 LM386。

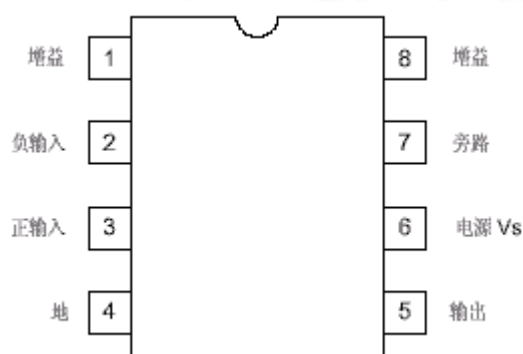


图 4-1 LM386

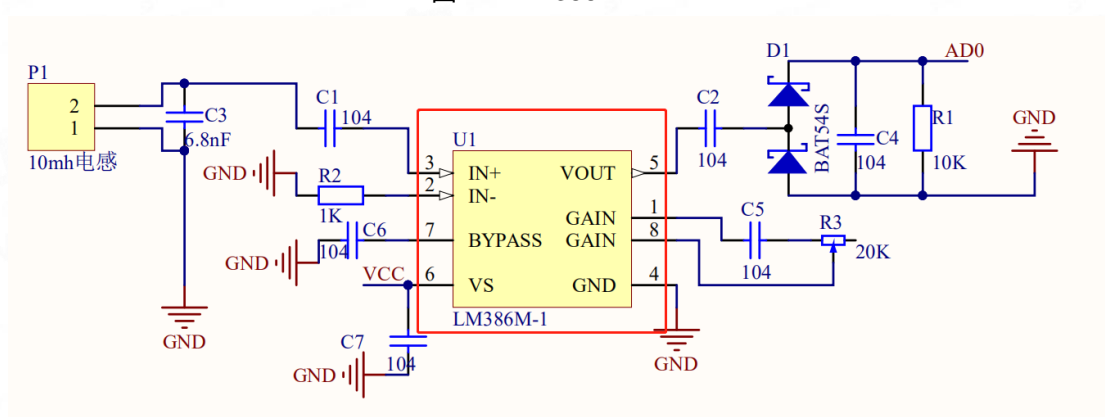


图 4-2 LM386 接线

如图 4-2 所示，LM386 的 3 号引脚接经过选频的感应电流（电动势），1 号和 8 号引脚间接 0.1uf 电容和 20K 的可调电阻，5 号引脚输出经过放大后的交流电。通过调节可调电阻 R3，可以改变放大倍率。



图中 LM386 信号输入端 3 号引脚接的电容 C1 的作用是通交流、断直流，因为我们通过磁场感应出来的只有交流电，则通过 C1 我们过滤掉了直流信号，保证我们读取信号的来源为磁场感应产生的信号。其输出端 5 号引脚接的电容 C2 同理。



5. 检波整流

由于单片机的 AD 采集不能直接测量交流电，所以在放大电流后，我们还要将交流电整流为直流。

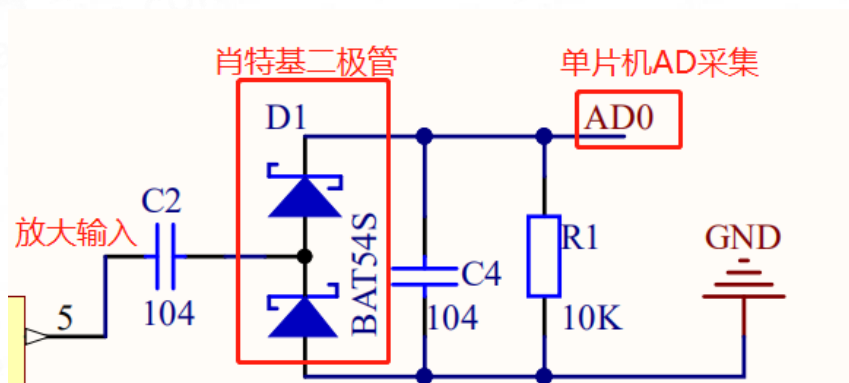


图 5-1 整流电路

如上图所示，交流电正半周时，二极管 D2 导通，D1 截止，电流经过 D2 对 C 充电；交流电负半周时，二极管 D1 导通，D2 截止，电流经过 D1 对 C 充电最终输出直流电压是交流峰值电压的 2 倍，称为倍压整流。

整流后的电压值就可以用单片机直接 AD 采集了。

检波整流也可以使用三极管，只要使交流电整流为直流电即可，如图 5-2 所示。

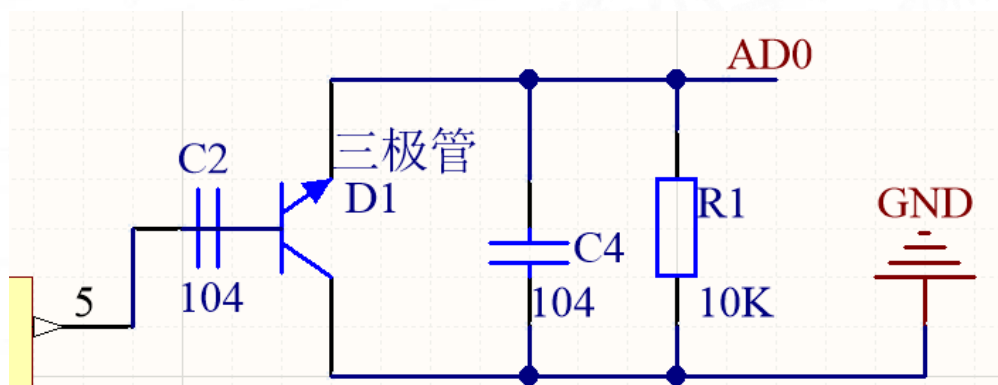


图 5-2 三极管整流



6. AD 采集直流电压

6.1. 采集效果



图 6-1 传感器偏左约 10cm

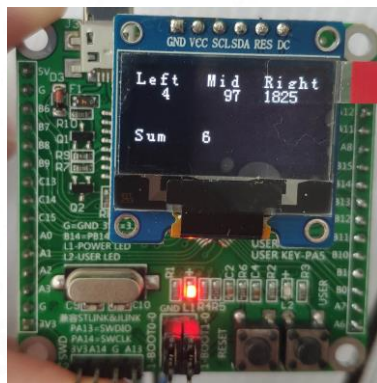


图 6-2 传感器偏左约 10cm 时的读数



图 6-3 传感器偏左约 5cm

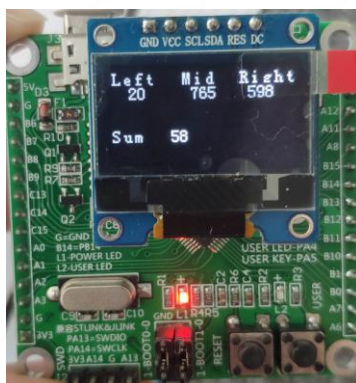


图 6-4 传感器偏左约 5cm 时的读数



图 6-5 传感器中心正对导线

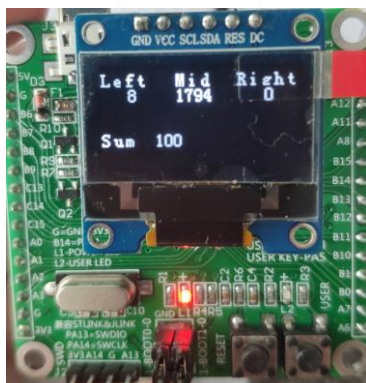


图 6-6 传感器中心正对导线时的读数

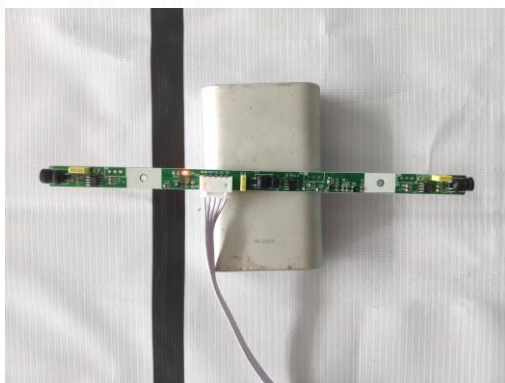


图 6-7 传感器偏右约 5cm

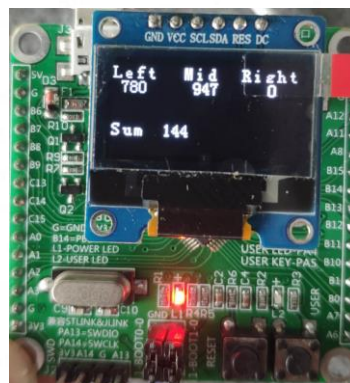


图 6-8 传感器偏右约 5cm 时的读数



图 6-2 传感器偏右约 10cm

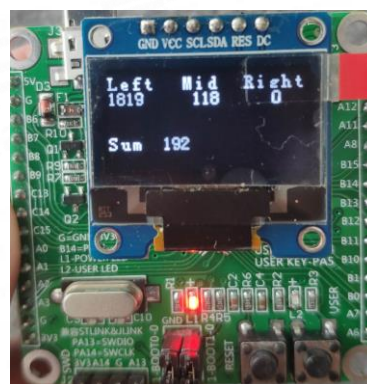


图 6-2 传感器偏右约 10cm 时的读数

OLED 屏幕上的 Sum 值即为偏差值（代表偏离中线的程度）。

可以发现采集效果为电磁巡线传感器中心位置对正导线时其综合读数为 100，偏左时读取减小，偏右时读数增大。



6.2. 电磁巡线传感器与 STM32 接线



图 6-3 传感器与 STM32 接线说明

如上图所示，电磁巡线传感器的 GND、VCC、O1、O2、O3 分别接 STM32 的 GND、3.3V、A3、A2、A7 引脚。

本手册使用的芯片型号是 STM32F103C8T6。



6.3.ADC 采集程序

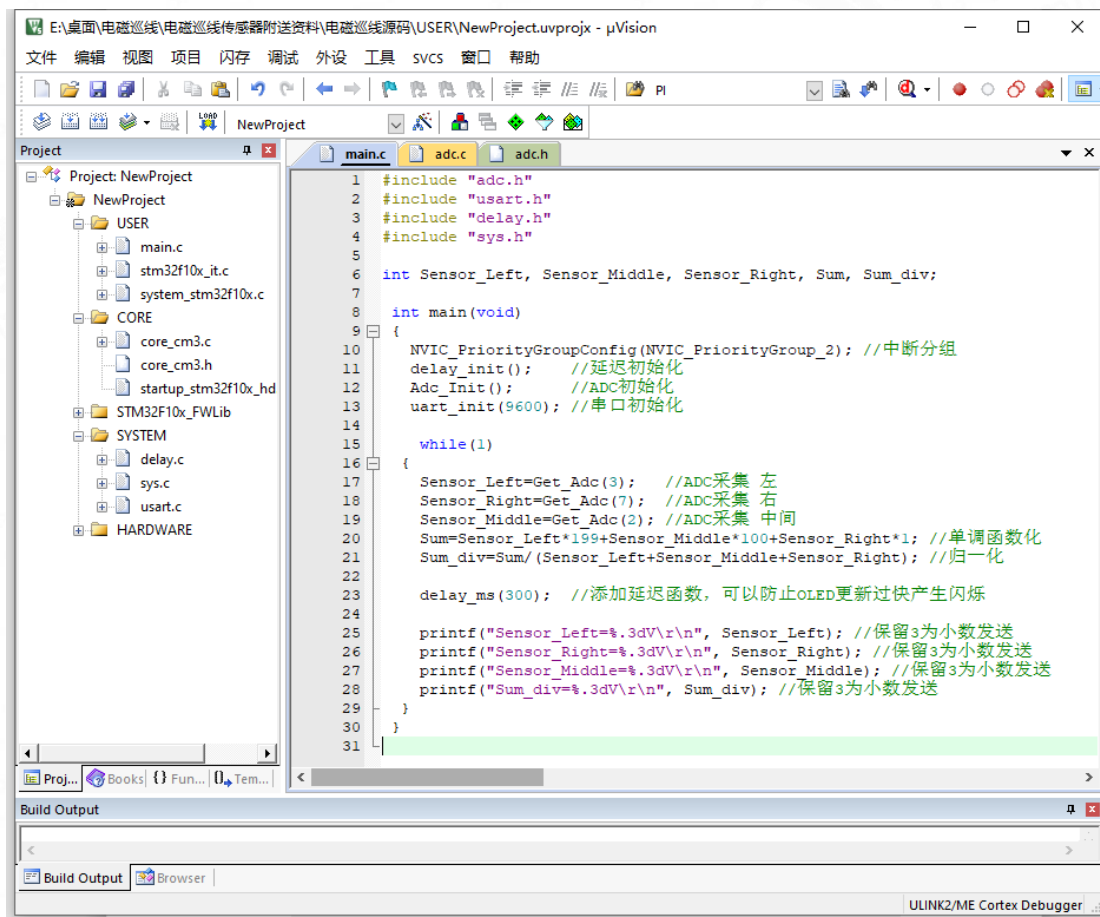


图 6-4 ADC 采集并求偏离值

```
#include "adc.h"
```

```
#include "usart.h"
```

```
#include "delay.h"
```

```
#include "sys.h"
```

```
int Sensor_Left, Sensor_Middle, Sensor_Right, Sum, Sum_div;
```

```
int main(void)
```

```
{
```




```
NVIC_PriorityGroupConfig(NVIC_PriorityGroup_2); //中断分
组

delay_init();    //延迟初始化

Adc_Init();      //ADC 初始化

uart_init(9600); //串口初始化


while(1)
{
    Sensor_Left=Get_Adc(3);    //ADC 采集 左
    Sensor_Right=Get_Adc(7);   //ADC 采集 右
    Sensor_Middle=Get_Adc(2);  //ADC 采集 中间
    Sum=Sensor_Left*199+Sensor_Middle*100+Sensor_Right*1;
//单调函数化

    Sum_div=Sum/(Sensor_Left+Sensor_Middle+Sensor_Right); //
归一化


    delay_ms(300); //添加延迟函数，可以防止 OLED 更新过
快产生闪烁


    printf("Sensor_Left=%.3dV\r\n", Sensor_Left); //保留 3 为小
数发送

    printf("Sensor_Right=%.3dV\r\n", Sensor_Right); //保留 3 为
```



小数发送

```
printf("Sensor_Middle=%.3dV\r\n", Sensor_Middle); //保留 3
```

为小数发送

```
printf("Sum_div=%.3dV\r\n", Sum_div); //保留 3 为小数发送  
  
}  
  
}
```