

实验报告

课程名称: _____ 专业综合实践 I

专业-班级: _____ 电气 1 班 _____ 学号: _____ 220330124 _____ 姓名: _____ 舒晟超 _____

实验日期: _____ 2024 年 _____ 9 月 _____ 10 日

报告总分数: _____

教师评语:

教师签字: _____

日 期: _____

一、实验目的

焊接函数发生器、示波器套件，学习示波器的基本功能，分析实现示波器功能的典型电路，学习示波器功能的示例代码编程，尝试自行编程调试。

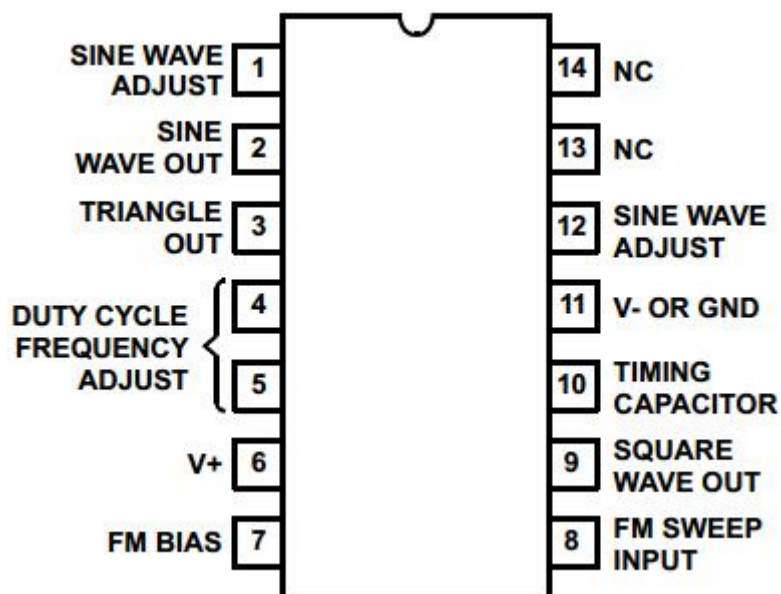
二、函数发生器

2.1 ICL8038 的原理

2.1.1 ICL8038 芯片介绍

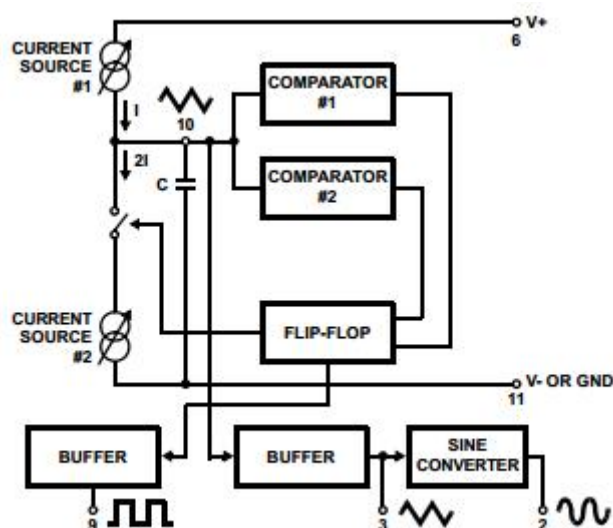
ICL8038 精密函数发生器是采用肖特基势垒二极管和薄膜电阻器等先进工艺制成的单片集成电路芯片，具有与电源电压范围宽、稳定度高等优点，温漂小于 $250\text{ppm}/^\circ\text{C}$ ，该器件可以与锁相环电路相连，外部只需接入很少的元件即可工作，可同时产生正弦波、方波、三角波、锯齿波，其函数波形的频率受内部或外电压控制，频率范围是 $0.001\text{Hz} \sim 300\text{kHz}$ 。

ICL8038 的引脚分布如下所示：



2.1.2 ICL8038 内部工作原理

ICL8038 的内部电路结构图如下：



ICL8038 芯片由三角波振荡电路，两个比较器，一个触发器，一个三角波-正弦波变换器，两个恒流源电路及外围电路构成。两只比较器组成一个滞回比较器，参考电压分别为 $2/3V_{CC}$ 和 $1/3V_{CC}$ 上。滞回比较器的输出分别控制触发器的置位端和复位端。外接定时电容 C 的充放

电路由内部电流源 1 和电流源 2 担任，充电和放电的转换则通过触发器的状态输出端控制开关 K 的通或断进行。由于电容 C 的交替充/放电转换，于是其上形成线性三角波信号，经缓冲器阻抗变换后输出三角波信号。为了在较宽的频率范围内实现三角波到正弦波的转换，芯片内设一个由电阻和晶体管构成的折线近似转换网络(正弦波变换器)，输出低失真的正弦波信号。触发器的状态互补输出端的输出脉冲经缓冲器变换，同步输出一组方波信号。

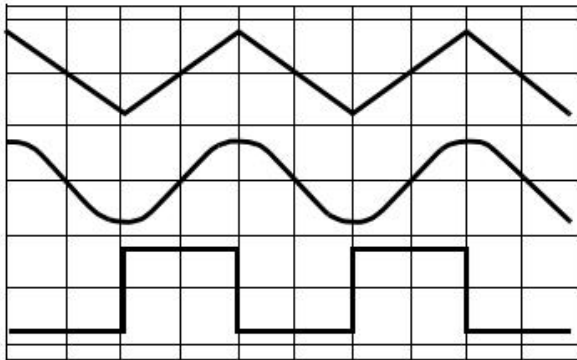


FIGURE 2A. SQUARE WAVE DUTY CYCLE - 50%

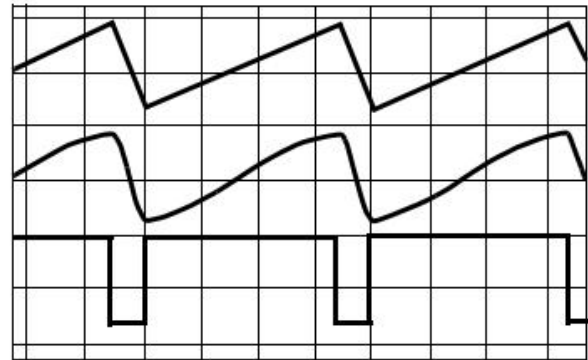


FIGURE 2B. SQUARE WAVE DUTY CYCLE - 80%

FIGURE 2. PHASE RELATIONSHIP OF WAVEFORMS

当电路刚接通电源 V_{CC} 时，由于定时电容 C 来不及充电，使比较器 2 的输出对触发器复位，开关 K 断开，电流源 1 以电流 I_1 向电容 C 线性充电(在 t_1 时间内)。C 上电压 $V_{C1}(t_1)$ 线性增长：

$$V_{C1}(t_1) = \frac{I_1 t_1}{C}$$

当 C 电位上升至 $2/3V_{CC}$ 时，比较器 1 翻转，使触发器置位，输出状态为 1。开关闭合，电流源 2 接入回路，由于芯片设计中使电流源 2 的电流为电流源 1 的两倍，所以电容 C 呈放电状态，放电电流为 I ，即放电电流与充电电流相等。在 t_2 时间内 C 上的电位从 $2/3V_{CC}$ 线性下降：

$$V_{C2}(t_2) = \frac{2}{3}V_{cc} - \frac{I t_2}{C}$$

当 C 电位下降至 $1/3V_{CC}$ 时，比较器 2 再次翻转，使触发器再次复位，开关断开，电容 C 再次接入充电状态，并由此形成周期。

2.1.3 ICL8038 输出的配置

波形的对称性都可以通过外部定时电阻进行调整。通过将定时电阻器 R_A 和 R_B 保持分开可获得最佳效果。 R_A 控制三角波和正弦波的上升部分以及方波的 1 状态。

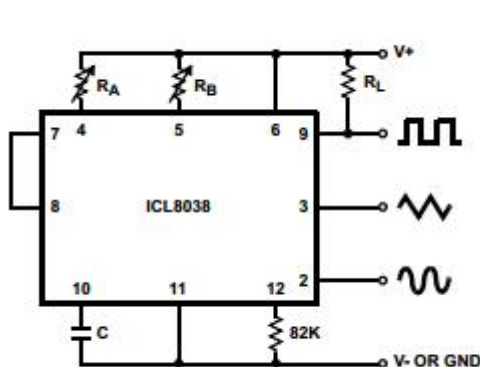


FIGURE 3A.

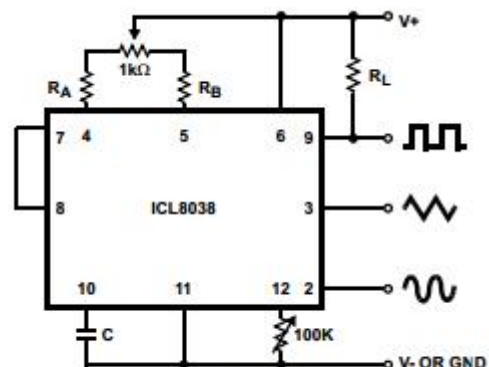


FIGURE 3B.

FIGURE 3. POSSIBLE CONNECTIONS FOR THE EXTERNAL TIMING RESISTORS

上升部分时，有：

$$t_1 = \frac{R_A C}{0.66}$$

下降部分时，有：

$$t_2 = \frac{R_A R_B C}{0.66(2R_A - R_B)}$$

由此公式可以进行占空比配置。

为了最大限度地减少正弦波失真，最好将引脚 11 和 12 之间的电阻设为可变电阻。通过这种布置，失真可以小于 1%。为了进一步降低失真，可以连接两个电位器，这种配置通常可以将正弦波失真降低近 0.5%。

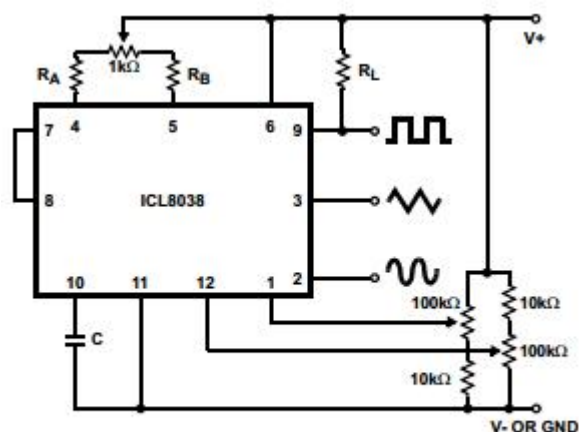


FIGURE 4. CONNECTION TO ACHIEVE MINIMUM SINE WAVE DISTORTION

波形发生器的频率是引脚 8 处直流电压(从 V_+ 测量)的直接函数。通过改变此电压，可以执行频率调节。对于较小的偏差（例如 $\pm 10\%$ ），可以将调节信号直接施加到引脚 8，只需使用电容器提供直流去耦，引脚 7 和 8 之间的外部电阻器不是必需的，但可用于将输入阻抗从约 8k(引脚 7 和 8 连接在一起)增加到约 $(R + 8k\Omega)$ 。

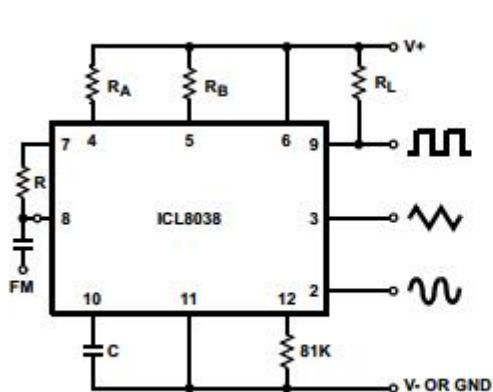


FIGURE 5A. CONNECTIONS FOR FREQUENCY MODULATION

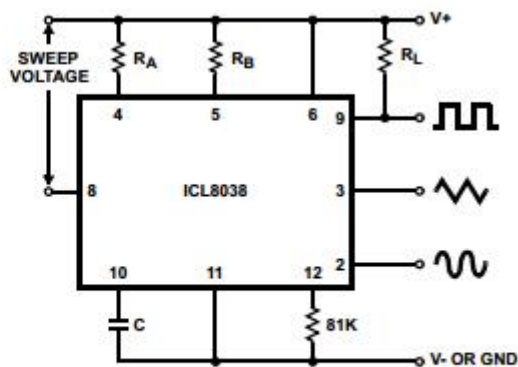


FIGURE 5B. CONNECTIONS FOR FREQUENCY SWEEP
FIGURE 5.

对于较大的 FM 偏差或频率扫描，调制信号施加在正电源电压和引脚 8 之间。这样，电流源的整个偏置都由调节信号创建，并创建非常大的(例如 1000:1)扫描范围($f = V_{SWEEP} = 0$ 时的最小值，即引脚 8 = V_+)。但是，必须小心调节电源电压；在此配置中，充电电流不再是电源电压的函数(但触发阈值仍然是电源电压的函数)，因此频率取决于电源电压。

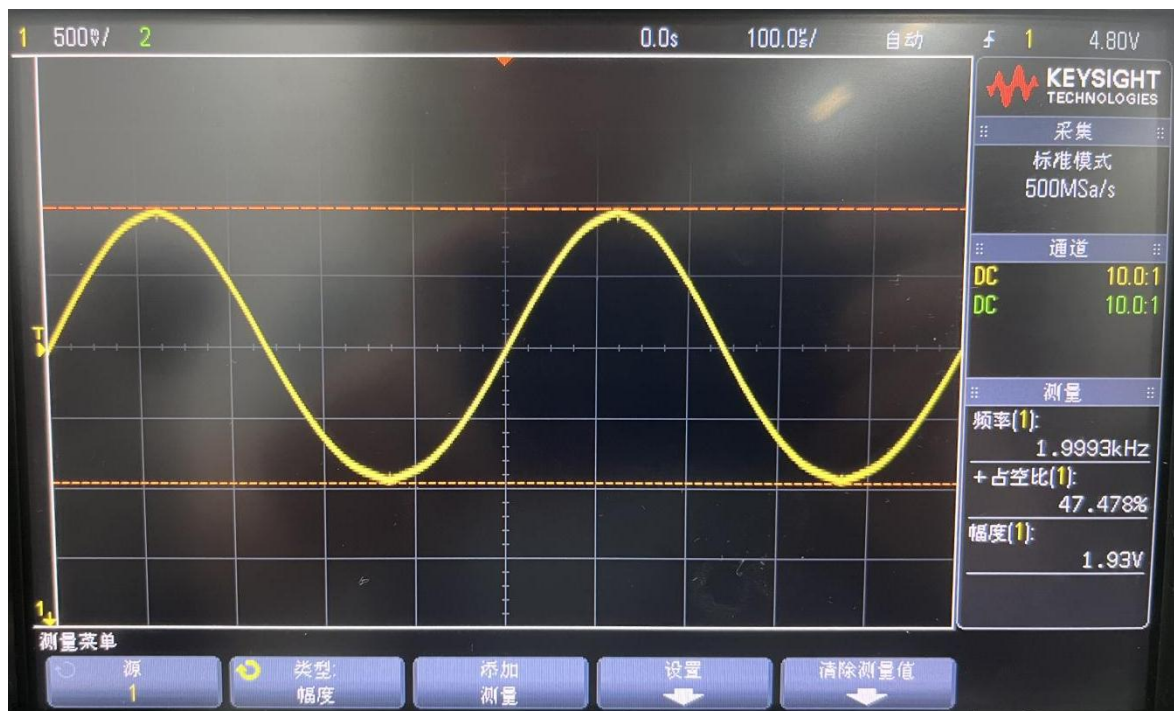
2.2 ICL8038 的功能实现

首先选择 C 为 1nF(102)以获得高频率输出信号,同时由于占空比为 50%,则 $R_A=R_B=43k\Omega$ 。

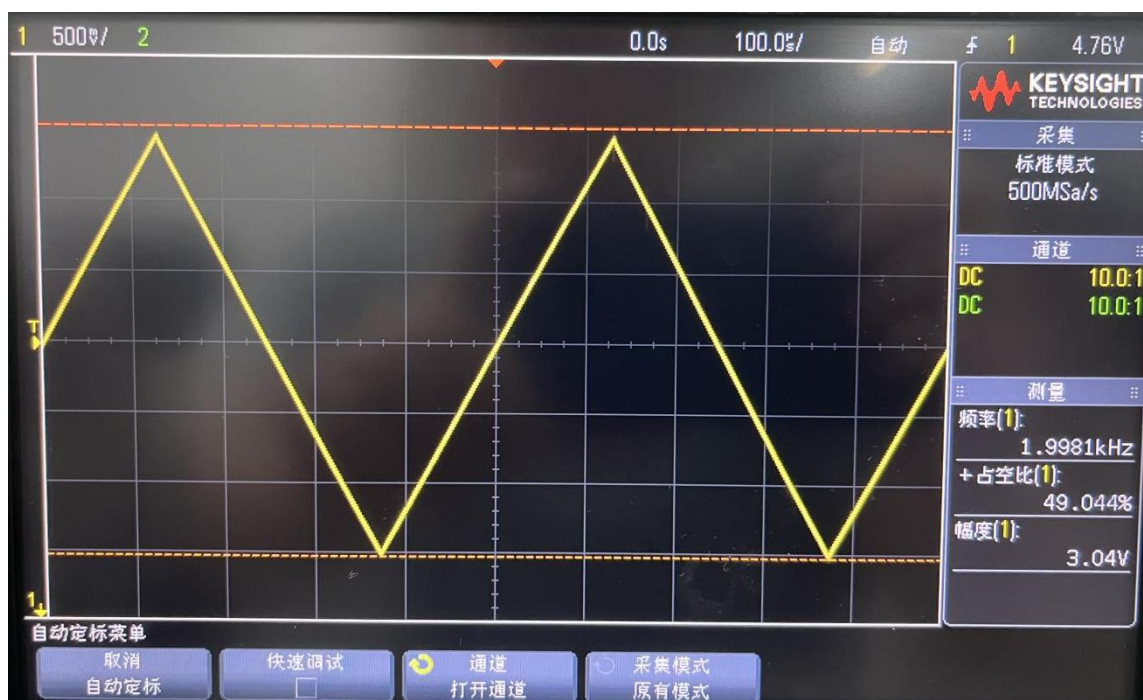
调节 12 脚处的电阻器可以调节输出正弦波的失真度,调节 4, 5 脚处的电阻器可以改变 R_A , R_B 以改变占空比,调节 8 处的电阻器可以改变引脚 8 的偏置电压,可以调节频率,引脚 8 的电压越高,频率越低。 R_A 同时会影响频率, R_A 越大,频率越低。因此先调整占空比电阻器,再调整频率电阻器,最后调整失真度电阻器。

2.3 实验波形

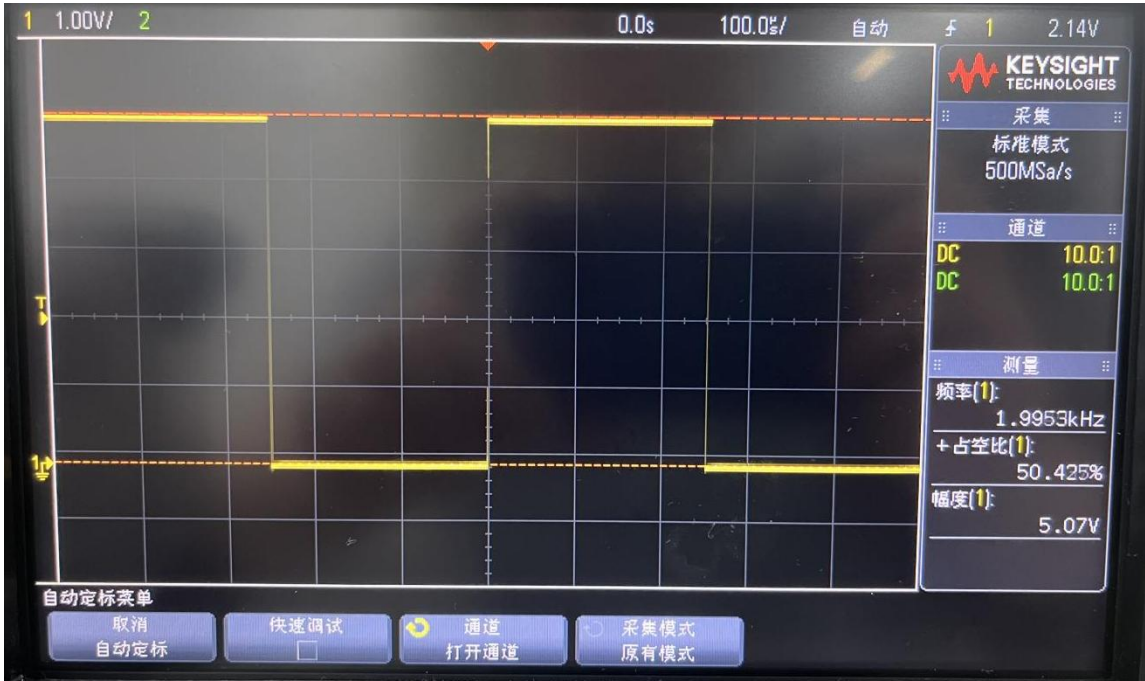
2kHz 正弦波:



2kHz 三角波:

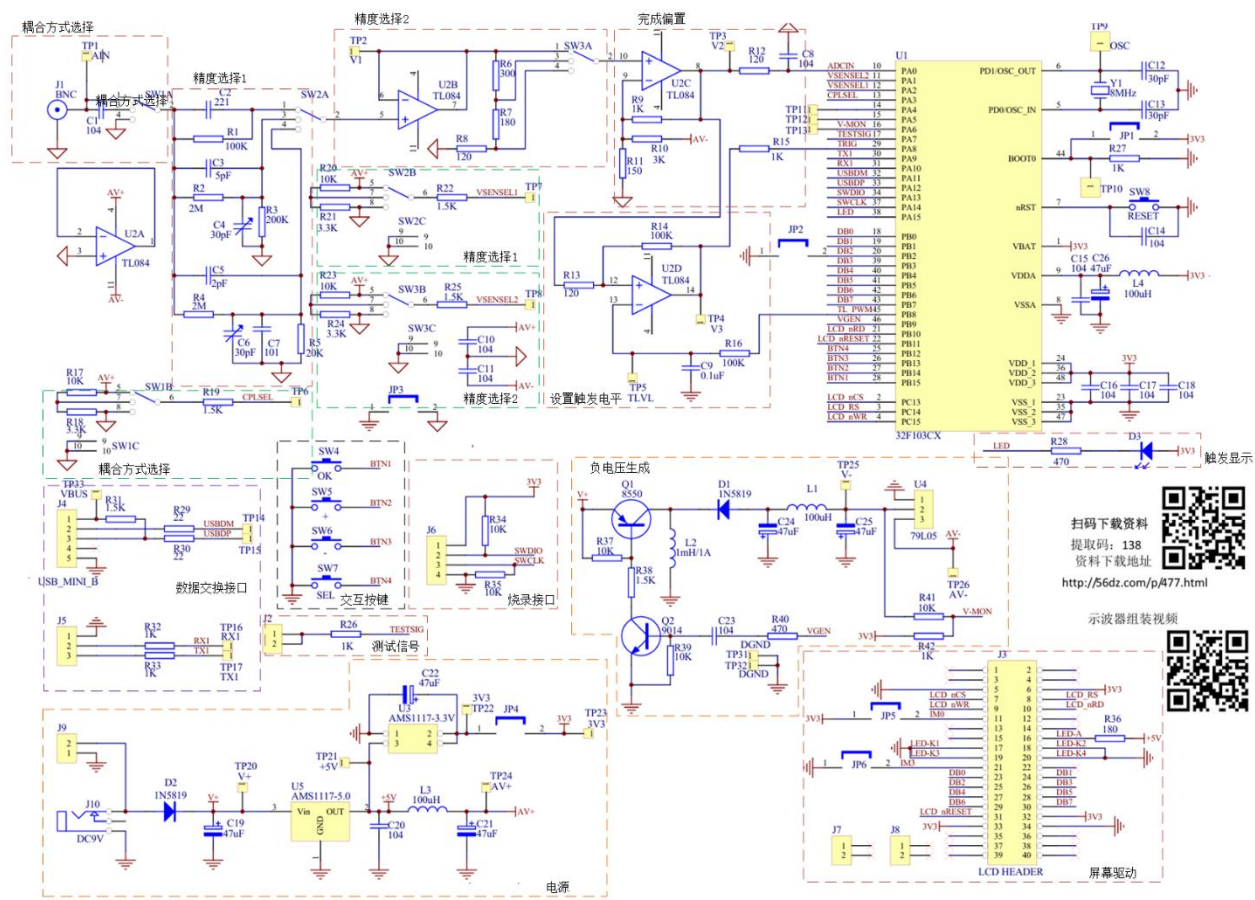


2kHz 方波:



三、示波器

3.1 整体电路方案设计



各部分电路功能如上图所示。

3.2 示波器输入耦合方式设计

示波器具有三种耦合方式：直流耦合，交流耦合和接地。

直流耦合适用于直流和低频交流信号，显示输入信号的全部内容，包括直流分量和交流分量。这用于查看信号的全貌，例如查看电源电压、缓慢变化的信号或信号的直流偏移量。

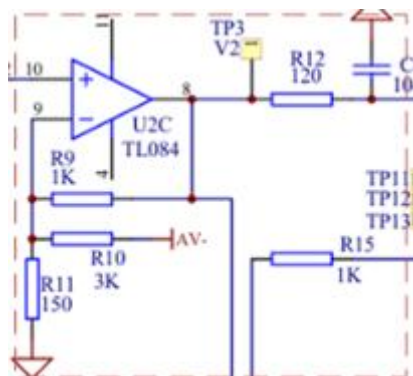
交流耦合适用于高频交流信号，示波器通过一个内部电容器屏蔽掉直流分量，只显示交流分量。这种模式用于过滤掉信号中的直流偏移，从而更清晰地观察高频信号的变化，一般用于查看小信号叠加在较大直流电平上的情况。

接地模式时，示波器输入端与地相连，输入信号被屏蔽，显示屏显示零电平。这种模式用于校准示波器的零电平参考，或者在测量之前进行信号基准调整，确保测量的准确性。

直流耦合通过直接连接信号与后级精度选择电路等实现，交流耦合通过使用阻容耦合，在信号与后级电路间加入电容来使得直流偏移被滤除以实现。

3.3 示波器采样电路设计

采样电路部分电路图如下：



采样电路包含电压比较器和同相放大器，在输入信号强度较低时可以提供信号增益，在输入信号强度较高时可以提供信号衰减，以使得信号满足被采样的要求。

滤波器则主要针对于精度选择 1 处的电阻与电容。其电阻参数选择应当满足分压关系，使得输出电压按照 1、10、100 倍进行衰减；而电容参数选择应当根据所选分压电阻，选取对应的耦合电容使得针对信号的响应速度提高，从而提高采样带宽。

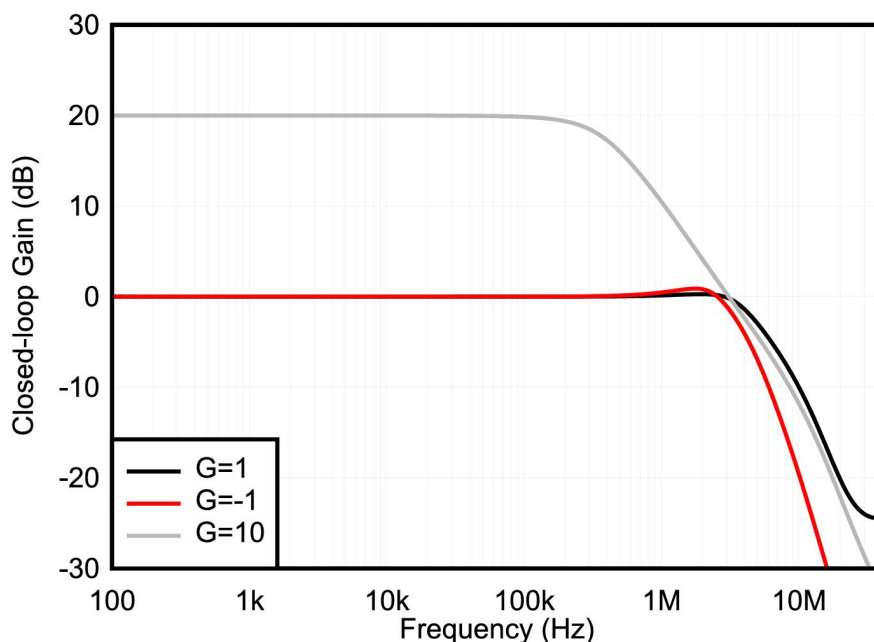
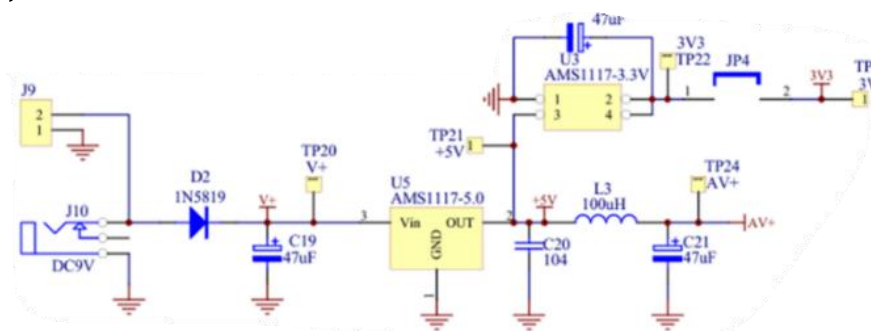
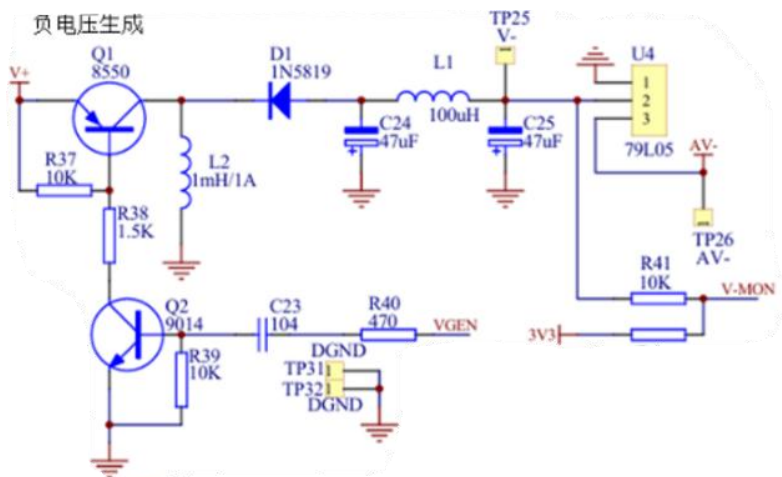


图 5-9. Closed-Loop Gain vs Frequency

3.4 供电电源设计

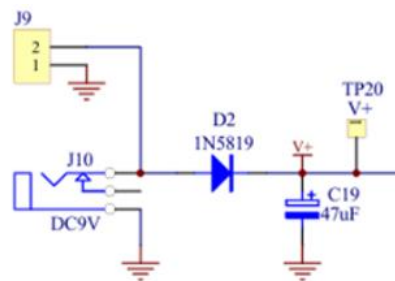


使用 LDO 线性稳压器进行正电源供电，前级为 AMS1117-5.0 将输入的 9V 直流电源转换为 5V 直流电源，后级为 AMS1117-3.3 将 5V 直流电源转换为 3.3V 直流电源。



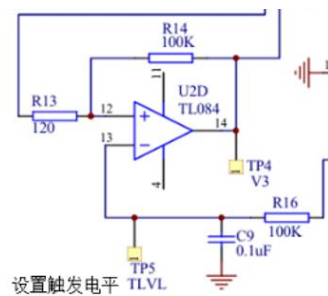
负电源生成部分，前级为 Buck-Boost 斩波器，后级为一个 79L05 芯片以实现负电压的生成。

3.5 保护电路设计



在电源输入处存在电源防反接设计，其二极管可以保护电路在错误接入电源的情形下，后级不会受到相反的电压以至于烧坏。

3.6 其他电路设计



触发电路采用了电压比较器，当输入点电压达到通过 PWM 控制的输出值时，使得触发脚为高电平以通过中断触发。

四、示波器功能分析

4.1 调研示波器的一线品牌，写下你用过认为非常好用的示波器品牌型号

示波器一线品牌有：Tektronix（我校实验室使用较多），Rigol Technologies 普源精电（国产示波器品牌），Keysight Technologies, Siglent Technologies, LeCroy 等。

Rigol 的许多中低端型号示波器具有较高性价比，且兼具逻辑分析仪等多种功能。例如 DHO814, DHO914 等。

4.2 示波器的重要参数指标

带宽：示波器能够准确测量的最高频率信号。带宽通常以赫兹（Hz）为单位，是示波器最重要的参数之一。

采样率：示波器每秒采集数据的次数，以样本/秒（S/s）为单位。采样率应该至少是示波器带宽的两倍以上，以符合奈奎斯特采样定理。

记录长度：示波器能够存储的采样点的数量。记录长度越长，能够分析的信号持续时间就越长。

上升时间：示波器测量信号从 10% 上升到 90% 所需的时间，通常与带宽相关。

输入阻抗：示波器输入端对信号的阻抗，理想情况下是高阻抗，以减少对被测电路的影响。

垂直分辨率：示波器能够分辨的最小电压变化，通常由其 ADC（模数转换器）的位数决定。

触发方式：示波器触发信号的方式，包括边沿触发、视频触发、脉宽触发等，用于稳定显示周期性信号。

最大输入电压：示波器能够承受的最大电压，超出这个电压可能会损坏仪器。

动态范围：示波器能够同时显示的最小和最大信号电平之比，通常以分贝（dB）表示。

显示屏尺寸和分辨率：示波器屏幕的大小和显示分辨率，影响观测的舒适度和细节。

波形更新率：示波器每秒能够刷新屏幕显示的次数，对于观测快速变化的信号非常重要。

内存深度：与记录长度相关，决定了示波器可以存储多少个采样点。

4.3 示波器功能有哪些

波形显示：基本功能，可以实时显示电压随时间变化的波形。

信号采集：能够对电信号进行高速采样，并将模拟信号转换为数字信号。

波形分析：

频率分析：通过快速傅里叶变换（FFT）分析信号的频率成分。

振幅分析：测量信号的峰-峰值、均方根值（RMS）、平均值等。

时间测量：

周期：测量信号周期。

脉冲宽度：测量脉冲信号的宽度。

延迟：测量两个信号之间的时间差。

触发功能：

边沿触发：根据信号的上升沿或下降沿来稳定显示波形。

视频触发：专门针对视频信号进行触发。

脉宽触发：根据脉冲的宽度来触发。

斜率触发：根据信号的斜率变化来触发。

波形存储与回放：可以将采集到的波形存储在内部内存中，之后可以回放和分析。

自动测量：自动计算和显示波形的各种参数，如频率、周期、峰-峰值等。

数学运算：可以对两个波形进行加、减、乘、除等数学运算。

波特图绘制：绘制系统的频率响应，用于分析和设计控制系统。

串行数据分析：解码和分析串行数据流，如 I2C、SPI、UART 等。

极限测试：设置波形的极限值，当波形超出这些极限时进行标记或报警。

远程控制：通过 USB、LAN 或 Wi-Fi 等接口进行远程控制和数据传输。

波形生成：一些高级示波器可以生成标准波形，如正弦波、方波、三角波等。

辅助功能：

USB 接口：用于连接外部存储设备或打印机。

触摸屏：便于操作和导航。

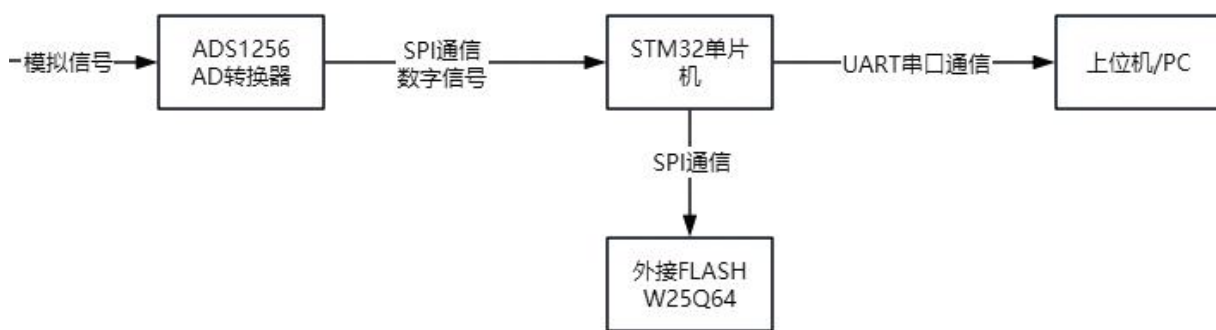
内置帮助：提供操作指南和故障排除信息。

4.4 实现示波器波形显示及分析功能的软件设计

（此部分包含实现示波器显示的软件编程部分：1、通讯部分，2、数据处理部分，3、波形显示部分）

1. 通信部分

实验用示波器并未实现和外界的通信，软件设计的通信部分如下：



使用 ADS1256 的 ADC 芯片实现模拟部分的采样，模拟信号经过 ADC 芯片后转换为数字信号，STM32 单片机通过和 ADS1256 芯片的 SPI 通信实现定时采样，同时，STM32 单片机可以通过串口通信或者 USB 与上位机进行通信。

STM32 采样时，首先将读取的数据按顺序转存到 FLASH 中，再一次性取出多个采样数据进行处理和波形显示。

2. 数据处理部分

实验用示波器的源代码中对数据处理是闭源的，无法分析，软件设计的数据处理如下：

(1) 频率分析

对得到的采样数据进行 FFT 可以分析频率，STM32 内的 DSP 库可以调用 FFT 接口，比如以下的代码可以进行 256 点 FFT：

```
void cr4_fft_256_stm32(void *pssOUT, void *pssIN, uint16_t Nbin);
```

假设采样数据为 `adc_buf[NPT]`，FFT 运算的输入数组为 `lBufInArray[NPT]`。由于 FFT 计算出来的数据是对称的，因此通常而言输出数组取一半的数据，为 `lBufOutArray[NPT/2]`。

```
1. //填充数组
2. for(i=0;i<NPT;i++)
3. //这里因为单片机的ADC只能测正的电压所以需要前级加直流偏执
4. //加入直流偏执后，需要在软件上减去2048即一半，达到负半周期测量的目的（需要根据具体情况来进行配置）
5. lBufInArray[i] = ((signed short)(adc_buf[i]-2048)) << 16;
6.
7. cr4_fft_256_stm32(lBufOutArray, lBufInArray, NPT);
```

以下函数可以计算各次谐波的幅值：

```
1. void GetPowerMag()
2. {
3.     signed short lX,lY;
4.     float X,Y,Mag;
5.     unsigned short i;
6.     for(i=0; i<NPT/2; i++)
7.     {
8.         lX = (lBufOutArray[i] << 16) >> 16;
9.         lY = (lBufOutArray[i] >> 16);
10.
11.         //除以32768再乘65536是为了符合浮点数计算规律
12.         X = NPT * ((float)lX) / 32768;
13.         Y = NPT * ((float)lY) / 32768;
14.         Mag = sqrt(X * X + Y * Y) / NPT;
15.         if(i == 0)
16.             lBufMagArray[i] = (unsigned long)(Mag * 32768);
17.         else
18.             lBufMagArray[i] = (unsigned long)(Mag * 65536);
19.     }
20. }
```

(2) 有效值计算

连续信号的有效值计算可以直接使用下式：

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt}$$

对于采样得到的离散信号，如果已知数字周期，可以通过 ([方式进行代替计算：

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N X_i^2}{N}}$$

(3) 平均值计算：直接使用采样数据平均值即可，这里采用已知频率情况下的计算：

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_0^N X_i$$

3. 波形显示部分

使用 LCD 显示波形和操作界面，LCD 采用 STM32F4 的 FMC 接口进行通信。首先画屏幕背景：

```

1. void display(void)
2. {
3.     uint16_t t;
4.     LCD_Fill(0,0,800,340,WHITE);
5.     POINT_COLOR=GREEN;
6.     for(t = 0;t<360;t=t+20)
7.         LCD_DrawLine(0, t, 800, t);
8.     for(t = 0;t<800;t=t+20)
9.         LCD_DrawLine(t,0, t,340 );
10.    POINT_COLOR=BLUE;
11.    LCD_DrawLine(0, 180, 800, 180);
12.    LCD_DrawLine(400,0, 400,340 );
13.    LCD_ShowNum(84,376,k,2,24);
14. }
15. void main(void)
16. {
17.     ...
18.     LCD_Init();
19.     LCD_Clear(WHITE);
20.     LCD_Display_Dir(1);
21.     POINT_COLOR=BLUE;
22.     LCD_ShowString(60,400,24*3,24,24,"t1:");
23.     LCD_ShowString(24,376,24*2,24,24,"move:");
24.     LCD_ShowString(60,424,24*3,24,24,"t2:");
25.     LCD_ShowString(0,448,24*4,24,24,"|t1-t2|:");
26.     LCD_ShowString(146,400,24*2,24,24,"ms");
27.     LCD_ShowString(146,424,24*2,24,24,"ms");
28.     LCD_ShowString(146,448,24*2,24,24,"ms");
29.     LCD_ShowString(260,400,24*3,24,24,"V1:");
30.     LCD_ShowString(260,424,24*3,24,24,"V2:");
31.     LCD_ShowString(200,448,24*4,24,24,"|V1-V2|:");
32.     LCD_ShowString(358,400,24*3,24,24,"mV");
33.     LCD_ShowString(358,424,24*3,24,24,"mV");

```

```
34. LCD_ShowString(358,448,24*3,24,24,"mV");
35. display ();
36. ...
37. }
```

当每次得到足够的采样数据后，屏幕上刷新一次波形，离散点之间使用插值的方式进行线条补全。