

放大器非线性失真研究装置预习报告

组号	27
饶欣瑶	2022302039
杨俊杰	2022302240

一、实验任务

(1)设计并制作一个放大器非线性失真研究装置。信号源输出频率 1kHz、峰峰值 20mV 的正弦波作为晶体管放大器输入电压 u_i ，测试口 TP1 输出无明显失真波形即失真波形 u_o ，且峰峰值不低于 $2V_{pp}$ ：

- 放大器能够输出无明显失真的正弦电压 u_{o1} 。
- 放大器能够输出有“顶部失真”的波形 u_{o2} 。
- 放大器能够输出有“底部失真”的波形 u_{o3} 。
- 放大器能够输出有“双向失真”的波形 u_{o4} 。

注：实验电路供电 DC \pm 9V。

(2)由串口屏进行控制的 TP1 输出不同的波形。TP1 输出不同的波形同时 TP2 同步输出相应的波形，峰值为 $2V_{pp}$ 。

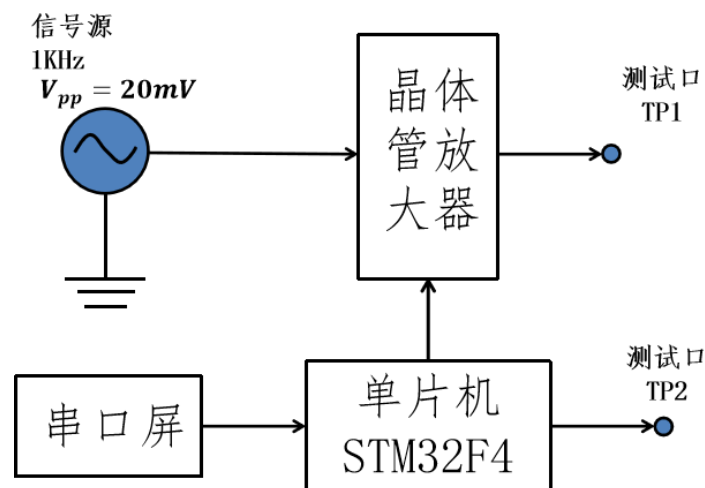


图 1 放大器非线性失真研究装置任务要求示意

二、电路仿真

任务：仅仿真设计放大电路部分（不含 CD4053），确定电位器阻值，验证电路的可行性。给出仿真电路图，以及仿真波形。

2.1 仿真电路搭建

在 Multisim 中搭建仿真电路如下图，其中用开关模拟 CD4053 芯片的选择作用。其中仿真时我们选取了 *source_{signal}* 作为信号源的信号检测、*output₁* 作为第一级放大器信号检测输出测试、*output₂* 作为第二级放大器信号检测、*final_{output}* 作为整个放大电路的最终输出。

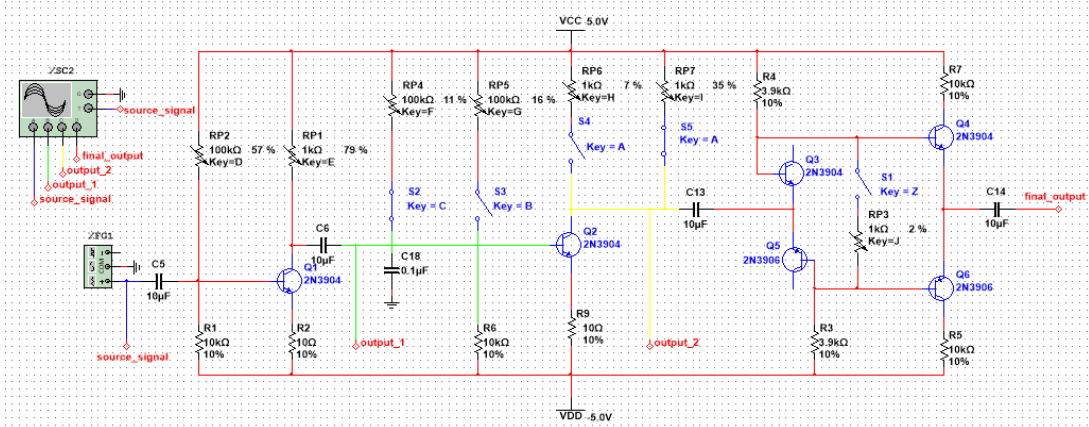


图 2 电路仿真图模型

2.2 电路原理分析

(1)电路主体：根据如图 3 所示的放大电路原理图所示，电路主体可分为三级，前两级均为共发射极放大器，第三级为乙类推挽功率放大器。具体来看，Q1、Q2 均为 NPN 三极管，它们作为有分压式电流负反馈放大电路的核心器件，对输入信号进行两级放大。同时，每个前一级的输出端都通过电容接到后一级的输入端，此为多级放大电路的阻容耦合方式，阻容耦合放大电路各级间直流通路各不相通，各级的静态工作点相互独立，便于后续各级静态工作点的设置。

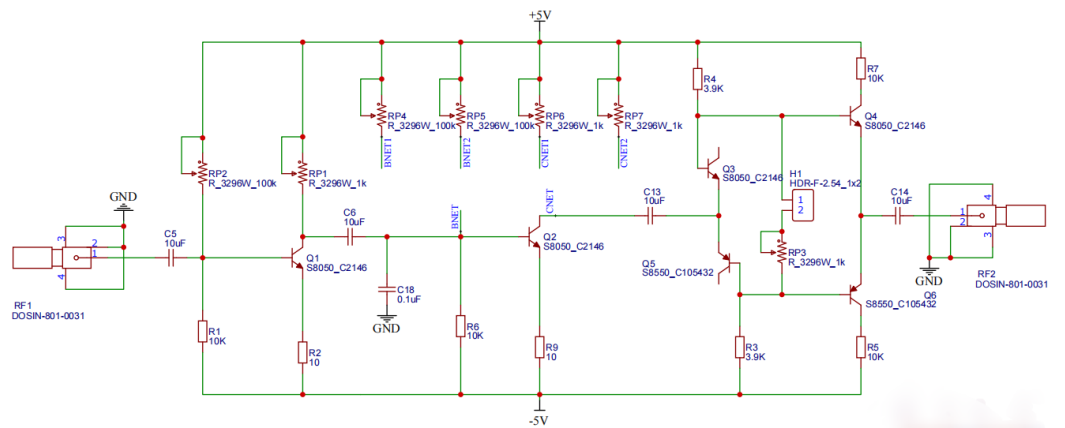


图 3 电路主体模型

可以清楚的看到，第一级电路的主要是要保证不失真的情况下，将信号放大到尽量大，以便于后续各类失真的观察。其静态工作点设置采用电阻分压式，并

且根据共射极放大电路的电压放大倍数公式可知第一级的方法倍数 A_u 为：

$$A_u = \frac{R_{P1} // R_{i2}}{r_{be} + (1 + \beta) R_2} \quad (1)$$

其中的 $r_{be} = r'_{bb} + (1 + \beta) \frac{26mV}{I_{CQ}}$ ， R_{i2} 为第二级电路的输入电阻值，当 R_{i2} 阻值为 0 时，通过调节 RP1、RP2 的阻值可以确定第一级放大电路的静态工作点以及电压放大倍数，R2 是 Q1 的射极负反馈电阻，其作用是稳定直流工作点。

第二级电路主要用于产生失真波形，RP4 和 RP5 二者有三种不同的接入方式：即只接 RP4、只接 RP5、同时接入 RP4 和 RP5，这三种连接方式得到的电阻和 R6 构成 Q2 的分压式直流偏置电路。RP6 和 RP7 二者有两种不同的接入方式：只接 RP6 或只接 RP7。通过调整电位器的阻值可以控制晶体管发射结和集电结的正偏和反偏，使之工作在放大区、饱和区或截止区，从而产生无明显失真、顶部失真、底部失真、双向失真四种波形。根据实际的仿真测试，具体的波形和开关对应的关系如表 1 所示：

表 1 放大器电路的开关状态对应的波形产生(1 开;0 闭)

类型/开关	S2	S3	S4	S5	S1
没有失真	1	0	1	0	0
顶部失真	0	1	1	0	0
底部失真	1	1	1	0	0
双向失真	1	0	0	1	0
交越失真	1	0	1	0	1

第三级电路主要控制“交越失真”的产生，其中 Q3 和 Q5 分别是 NPN 和 PNP 三极管，但只接入基极和发射极，集电极悬空，作为二极管使用，作用是设置晶体管的静态工作点偏置于临界导通状态，可消除交越失真。Q4 和 Q6 分别是 NPN 和 PNP 三极管，和周围器件组成互补对称射极输出电路，也称乙类功率放大器，但由于基极和发射极之间电压相差 0.3V（锗管）或 0.7V（硅管）时才导通，过零时将出现交越失真。若开关 S2 和 S4 闭合且 RP3 阻值很小，Q3 和 Q5 被短路，波形过零时会出现交越失真现象，通过调节 RP3 可以改变交越失真程度。并且，RP3 的阻值越小，对应产生的交越失真就越明显。

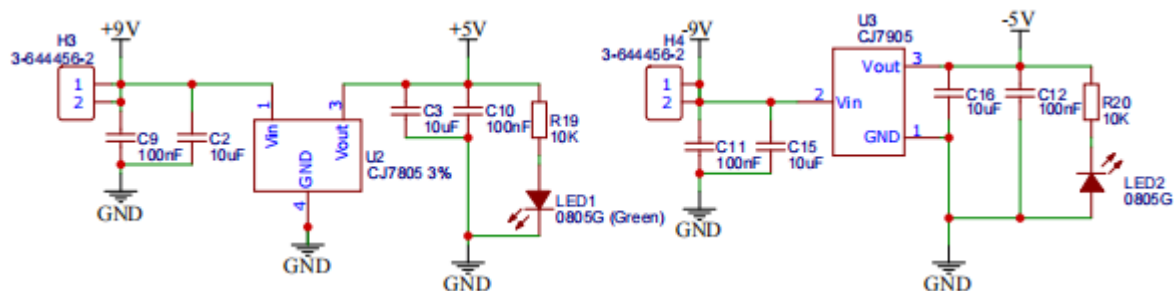


图 4 线性稳压模块

(2)线性稳压模块：如图 4 所示，电路板正常工作电压为 $\pm 5V$ ，与实验电路供电的 $DC \pm 9V$ 不一致，因此需要将输入电压分别通过 $+5V$ ， $-5V$ 的线性稳压器来实现降压功能，当负载电流变化时，线性稳压器始终能提供稳定的 $\pm 5V$ 输出电压，以使板子达到正常的工作状态。

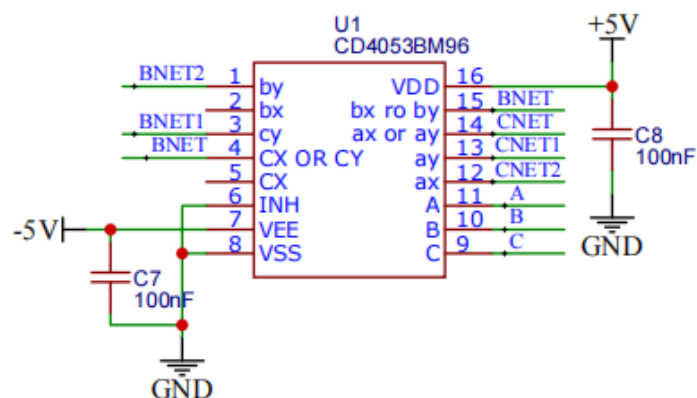


图 5 CD4053BM96 芯片

(3)CD4053 芯片：CD4053 芯片内部相当于有 3 组单刀双掷开关，地址码 C、B、A 控制 3 组开关分别接通哪一通道，根据其真值表及原理图可得到下表对应接通关系：

表 2 引脚 INH 接地下 CBA 地址码对应仿真电路图开关接通情况

C	B	A	仿真电路开关对应接通情况
0	0	0	S1、S2 断开，S4 闭合（只接入 RP7）
0	0	1	S1、S2 断开，S3 闭合（只接入 RP6）
0	1	0	S1 断开，S2、S4 闭合（接入 RP5、RP7）
0	1	1	S1 断开，S2、S3 闭合（接入 RP5、RP6）
1	0	0	S2 断开，S1、S4 闭合（接入 RP4、RP7）
1	0	1	S2 断开，S1、S3 闭合（接入 RP4、RP6）
1	1	0	S1、S2、S4 闭合（接入 RP4、RP5、RP7）
1	1	1	S1、S2、S3 闭合（接入 RP4、RP5、RP6）

C、B、A 地址码输入分别由三个反相器控制，当 CIN、BIN、AIN 为 5V 电压时，计算可知三极管处于饱和状态，集电极电压为 $U_{CE(sat)}$ ，饱和压降很小，因此对应地址码输入“0”；当 CIN、BIN、AIN 接 GND 或不接入时，计算可知三极管处于截止状态，集电极电压为 5V，因此对应地址码输入“1”。

三、电路调测