

东南大学电工电子实验中心

实 验 报 告

课程名称： 模拟电子电路实验

第 3 次实验

实验名称： 2.10 三极管放大电路基本性能的测量

院（系）： 自动化 专 业： 自动化

姓 名： 陈鲲龙 学 号： 08022311

实 验 室： 105 实验组别： 11

同组人员： _____ 实验时间： 2024 年 4 月 24 日

评定成绩： _____ 审阅教师： _____

一、实验目的

- (1)掌握单级三极管放大电路的工作原理、电路设计、安装和调试；
- (2)了解三极管各项基本参数的意义、选择器件的注意事项；
- (3)理解三极管偏置电路的基本概念，掌握静态工作点的调试和测量方法；
- (4)掌握三极管放大电路输入阻抗、输出阻抗、增益等的基本概念以及测量方法。

二、实验原理

1、基本概念

三极管放大电路是利用双极型器件或场效应器件的控制特性，将输入小信号线性 放大到所需数值的电路。双极型器件有三种基本组态：共发射极电路、共基极电路和 共集电极电路，场效应管也有三种基本组态：共源极电路、共栅极电路以及共漏极电路。

三极管放大电路一般需要研究分析两种特性：静态特性和动态特性。静态特性是指 三极管放大电路为了正常工作而构建的静态工作点，包括三极管各电极之间的电压、电极中流过的电流。工作点设置是否合适，将影响到放大电路的动态性能指标，甚至会导致放 大电路不能工作。动态特性一般包括放大电路的放大倍数、输入电阻、输出电阻、动态范 围、频带宽度等，这些特性是衡量一个放大电路性能好坏的重要指标。

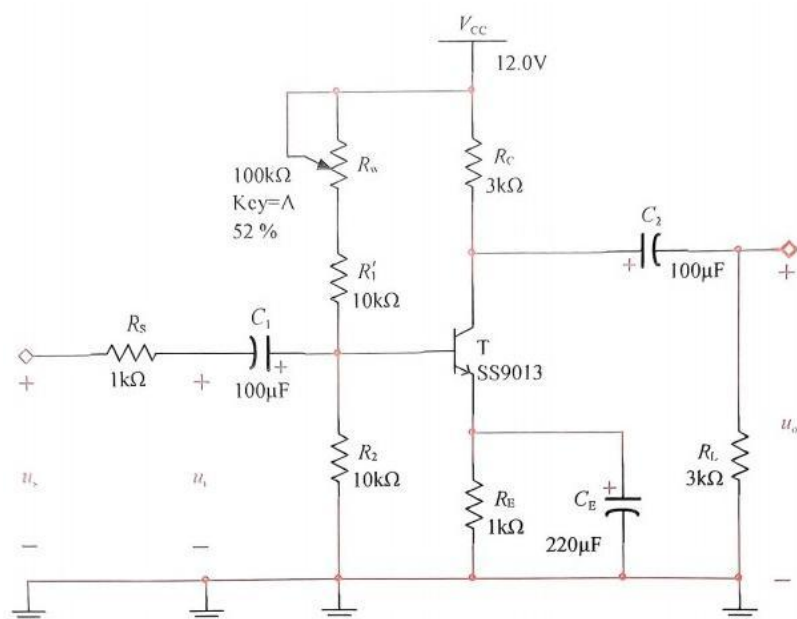
双极型三极管有多种分类方式，按制作的材质可以分为：硅管、锗管；按结构可分为：NPN 管、PNP 管；按三极管的功能可以分为：开关管、功率管、达林顿管、光敏管等；按三极 管的功率大小可以分为：小功率管、中功率管、大功率管；按照三极管的工作频率可以分 为：低频管、高频管、超频管；按三极管的结构工艺可以分为：合金管、平面管；按照 其封装 方式可以分为：插件三极管、贴片三极管。

不同的三极管有着各自不同的特性及其应用场合，选择合适的三极管是放大电路实 现所需要功能的保证，通过查阅对应型号的器件数据手册可以获得所用器件的性能。如本实验选用的 9013 三极管，是以硅材料制作的 NPN 型小功率三极管，其部分参数如 表 2-10-1 所示。

表 2-10-1 三极管 9013 器件部分数据表			
参数符号	测量条件	参数值	参数意义及设计时应该如何考虑
BV_{CBO}	$I_C=100\mu A, I_E=0$	40 V	击穿电压,超过这个电压三极管就可能被击穿
BV_{CEO}	$I_C=1\text{ mA}, I_B=0$	20 V	
BV_{EBO}	$I_E=100\mu A, I_C=0$	5 V	
I_{CBO}	$U_{CB}=25\text{ V}, I_E=0$	100 nA	集电结反向电流
I_{EBO}	$U_{EB}=3\text{ V}, I_C=0$	100 nA	发射结反向电流
h_{FE}	$U_{CE}=1\text{ V}, I_C=50\text{ mA}$	典型值 120 倍	直流电流增益
$V_{CE}(\text{sat})$	$I_C=500\text{ mA}, I_B=50\text{ mA}$	典型值 0.16 V 最大值 0.6 V	集电极—发射极饱和压降
$V_{BE}(\text{sat})$	$I_C=500\text{ mA}, I_B=50\text{ mA}$	典型值 0.91 V 最大值 1.2 V	基极—发射极饱和压降
$V_{BE}(\text{on})$	$U_{CE}=1\text{ V}, I_C=10\text{ mA}$	最小值 0.6 V 典型值 0.67 V 最大值 0.7 V	基极—发射极导通电压

2、分压式偏置共发射极放大电路工作原理

以 9013 为核心的分压式偏置共发射极放大电路如图 2-10-1 所示。



其中：由 R_w 和 R_1' 串联构成的电阻 R_1 称为“上偏置电阻”， R_2 称为“下偏置电阻”， R_1 和 R_2 构成分压式偏置方式，为三极管 T 提供静态偏置， R_e 为发射极电阻，和发射极旁路电容 C_E 一起用于稳定电路的静态工作点。信号源电压 u_s 。经过信号源内阻 R_s （由于信号源内阻非常小，为了测试输入电阻而特地加入 R_s ，模拟信号源内阻，其余情况这个电阻 R_s ，一概省略）后成为放大电路的输入信号 u_i ，由输入耦合电容 C_1 将该信号传递给三极管输入端进行放大，由集电极电阻 R_c 将变化的集电极电流转换成变化的电压，通过输出耦合电容 C_2 ，再将变化的电压输出到负载 R_L 上，完成了信号由输入到输出的放大，其中放大的实现是由三极管的控制作用完成的。

即：

$$u_s \xrightarrow{R_s} u_i \xrightarrow{C_1} u_{be} \rightarrow i_b \rightarrow i_c (\beta i_b) \rightarrow i_c R'_L \rightarrow u_c \xrightarrow{C_2} u_o$$

三、实验内容

1. 实验要求：

以图 2-10-1 电路为例，完成静态工作点的测量、动态参数的测量、三极管放大电路输入和输出电阻的测量。

(1) 静态工作点的测量：

静态也叫直流工作状态，是指电路在没有外加交流信号，仅有直流电源供电状态下三极管的电压和电流。一般指三极管的集电极电流 I_c ，集电极-发射极电压 U_{ce} ，基极电流 I_b 和基极-发射极电压 U_{be} 。在实际应用时，一般以测量 I_c 和 U_{ce} 两个参数为主。

(2) 动态参数的测量：

动态也叫交流工作状态，是指三极管在直流工作状态（静态工作点）下，当外加交流信号作用时，测量输出交流信号幅度的大小、输出波形是否出现失真、最大输出幅度等。

(3) 输入和输出电阻的测量：

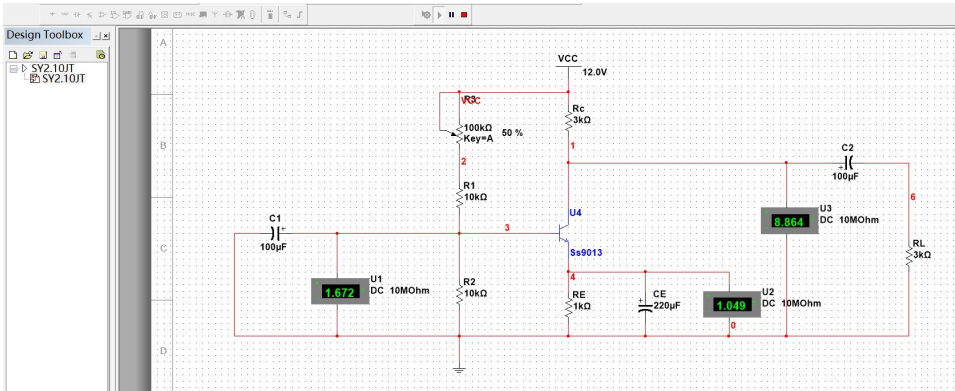
输入电阻反映了一个放大电路对信号源信号的获取能力，针对不同的信号源特性需要设计不同大小的输入电阻。一般而言，针对电压源特性的信号，其等效内阻比较小，所以希望放大

电路的输入电阻尽可能大些；而针对电流源特性的信号，其等效内阻比较大，设计的放大电路输入电阻应尽量小些。

输出电阻反映了一个放大电路带负载能力的大小，当放大电路以电压源形式输出时，希望放大电路的输出电阻尽可能小，放大后的信号电压能更多地输出在负载上；当放大电路以电流源形式输出时，所设计的放大电路的输出电阻就需要尽可能大。

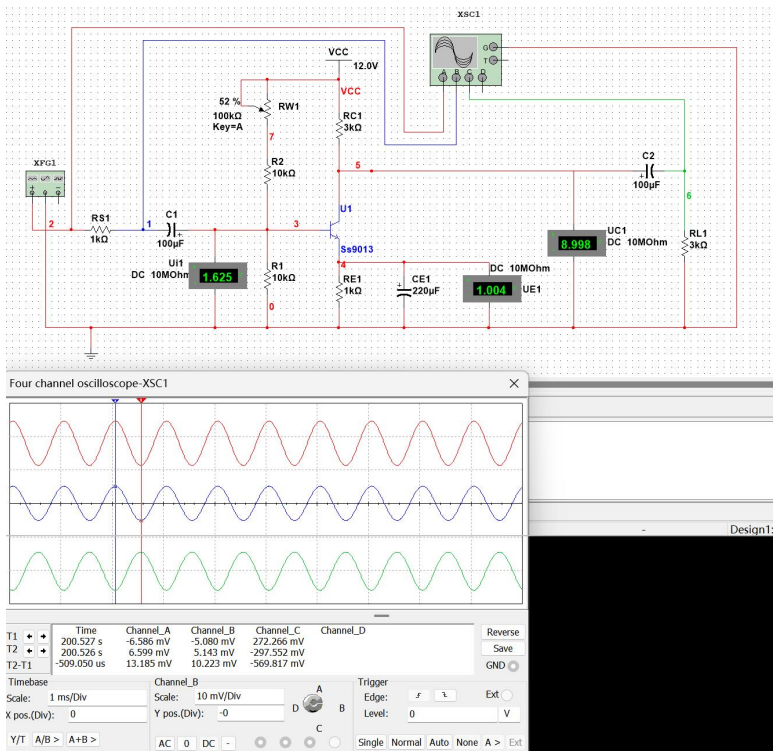
2.仿真实验：

(1) 静态工作点的测量：



测量值	UBQ/V	1.672
	UCQ/V	8.864
	UEQ/V	1.049
计算值	ICQ/mA	1.049
	UBEQ/V	0.623
	UCEQ/V	7.815
	R1/k Ω	50

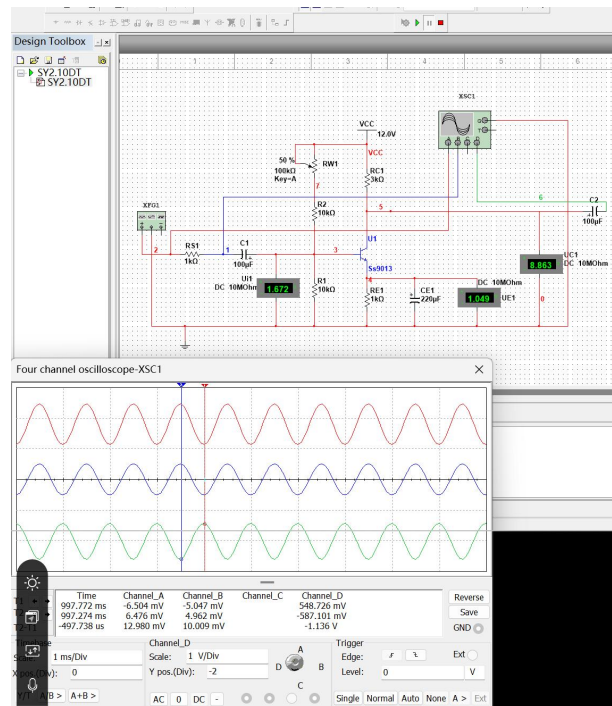
(2) 放大电路动态参数的测量：



$$A_u = U_o / U_i = -569.817 \text{ mV} / 10.223 \text{ mV} = -55.74$$

$$A_{us} = U_o / U_s = -569.817 \text{ mV} / 13.185 \text{ mV} = -43.217$$

$$R_i = U_i * R_s / (U_s - U_i) = 10.223 \text{ mV} * 1 \text{ k} \Omega / (13.185 \text{ mV} - 10.223 \text{ mV}) = 3.4514 \text{ k} \Omega$$



$$R_o = (U_o' - U_o) * R_L / U_o = (1136 \text{ mV} - 569.817 \text{ mV}) * 3 \text{ k} \Omega / 569.817 \text{ mV} = 2.98 \text{ k} \Omega$$

(3) 工作点的改变对电路性能的影响

通过调整上偏置电阻中的 R_w 值，可以得到不同的静态工作点。参照上述类似方式，测量相应的静态工作点的参数以及对应的动态性能指标，分析研究静态工作点对放大电路动态性能的影响。通过调整工作点，并适当加大输入信号值，观察输出波形的失真现象，分析研究工作点如果不合理，会导致放大电路输出波形出现何种类型的失真？要消除失真应该如何调整电路的工作点，以及使输出信号达到最大不失真幅度时对应的工作点应该如何设置。

答： R_w 调大会使得 U_{ce} 增大， I_c 减小， Q 点也即静态工作点下移，所以会出现截止失真；

R_w 调小会使得 U_{ce} 减小， I_c 增大， Q 点也即静态工作点上移，所以会出现饱和失真。

2. 电路实验

(1) 静态工作点变化对放大电路性能的影响

静态工作点电流 I_{CQ}/mA		1	2
输入端接地	U_{BQ}/V	1.63325	2.6610
	U_{CQ}/V	8.694	5.3843
	U_{EQ}/V	1.00746	2.02209
输入信号(5Vrms) (示波器实测 V_{pp} 约为 15mV)	$U_s/\text{mV}(V_{pp})$	17.819	19.8
	$U_o/\text{V}(V_{pp})$	0.864(图 4)	1.56(图 1)
	$U_o'/\text{V}(\text{空载})(V_{pp})$	1.68(图 3)	3.04(图 2)
计算值	U_{BEQ}	0.62579	0.63891
	U_{CEQ}	7.68654	3.36221
	$A_u = U_o / U_i$	57.6	104
	$A_s = U_s / U_i$	48.49	78.792
	$R_i = U_i * R_s / (U_s - U_i) (\text{k} \Omega)$	5.321	3.12566
	$R_o = (U_o' - U_o) * R_L / U_o (\text{k} \Omega)$	2.833	2.846

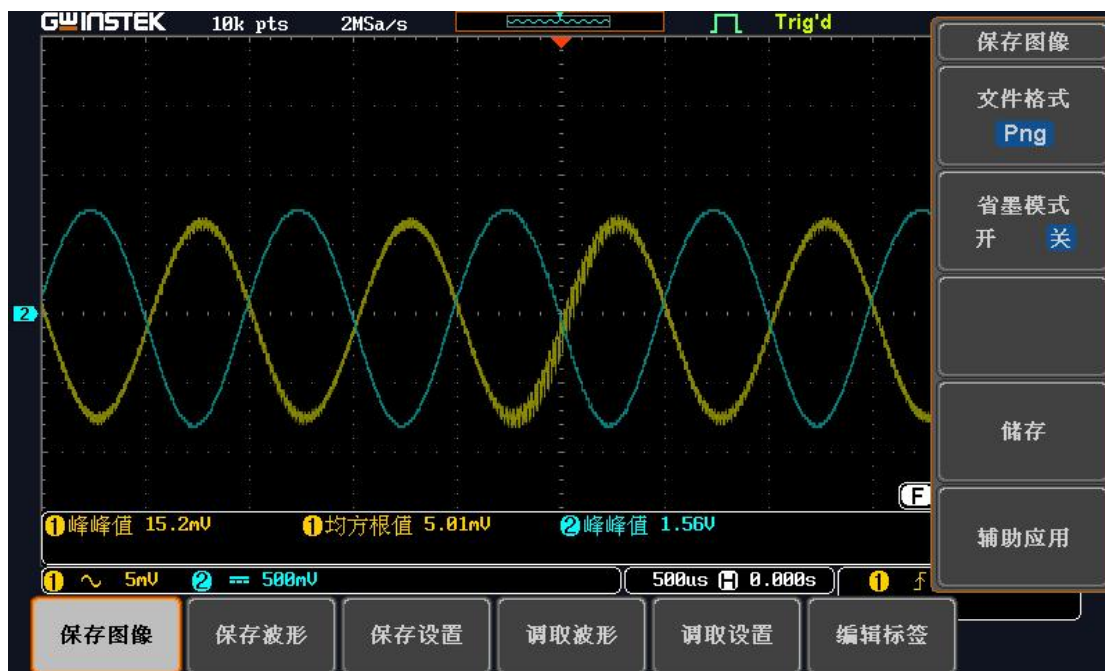


图 1

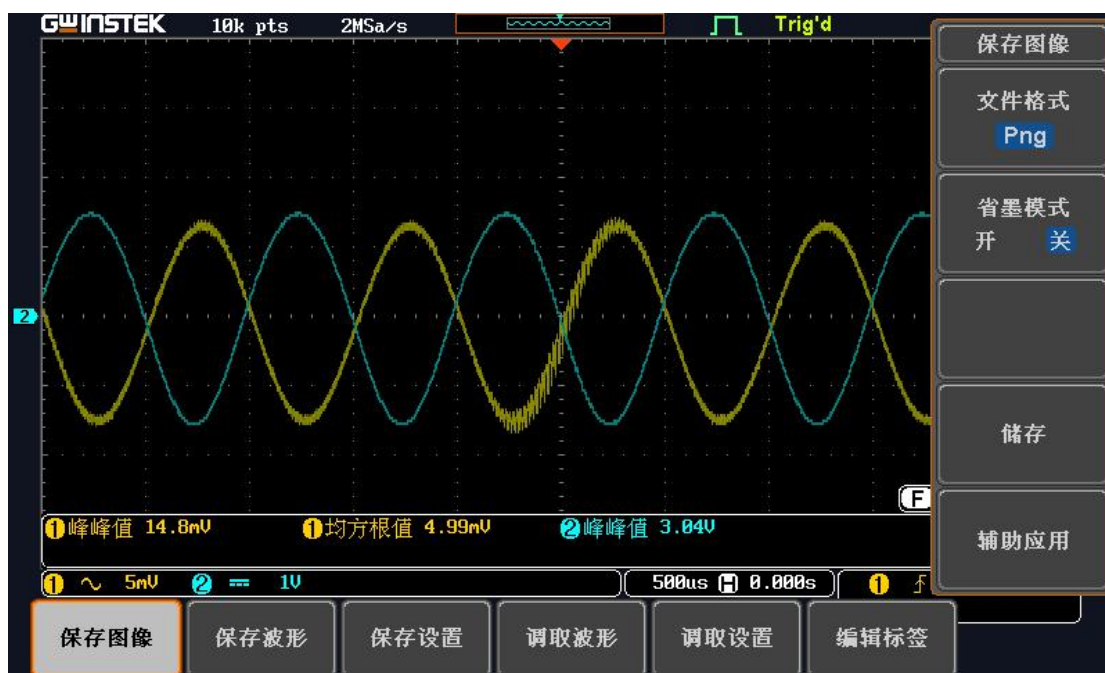


图 2

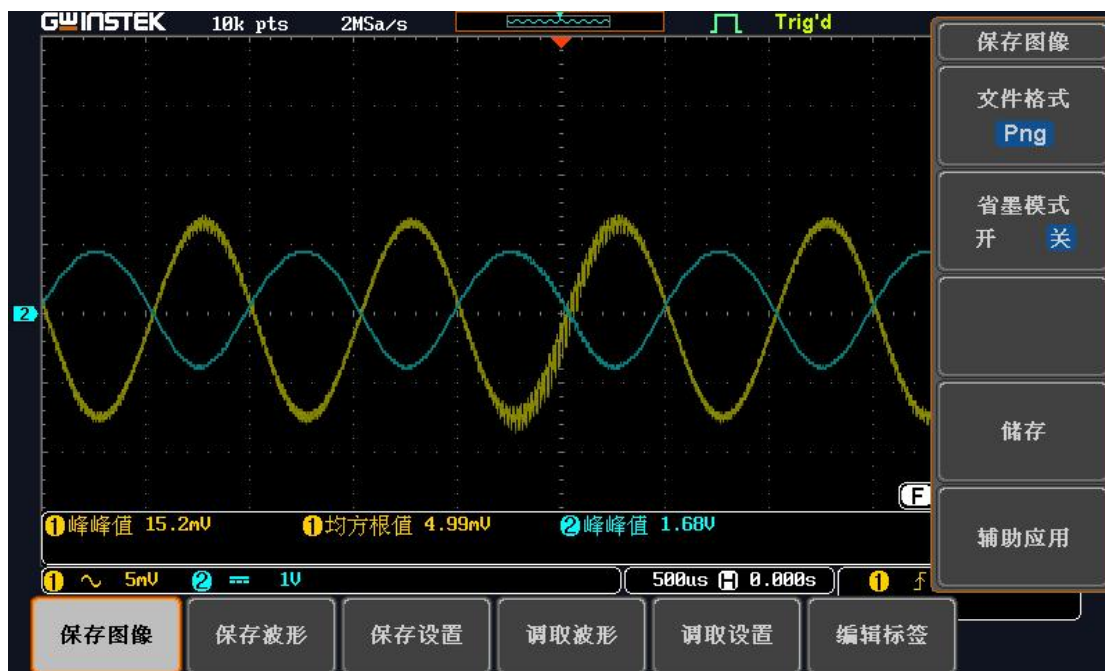


图 3

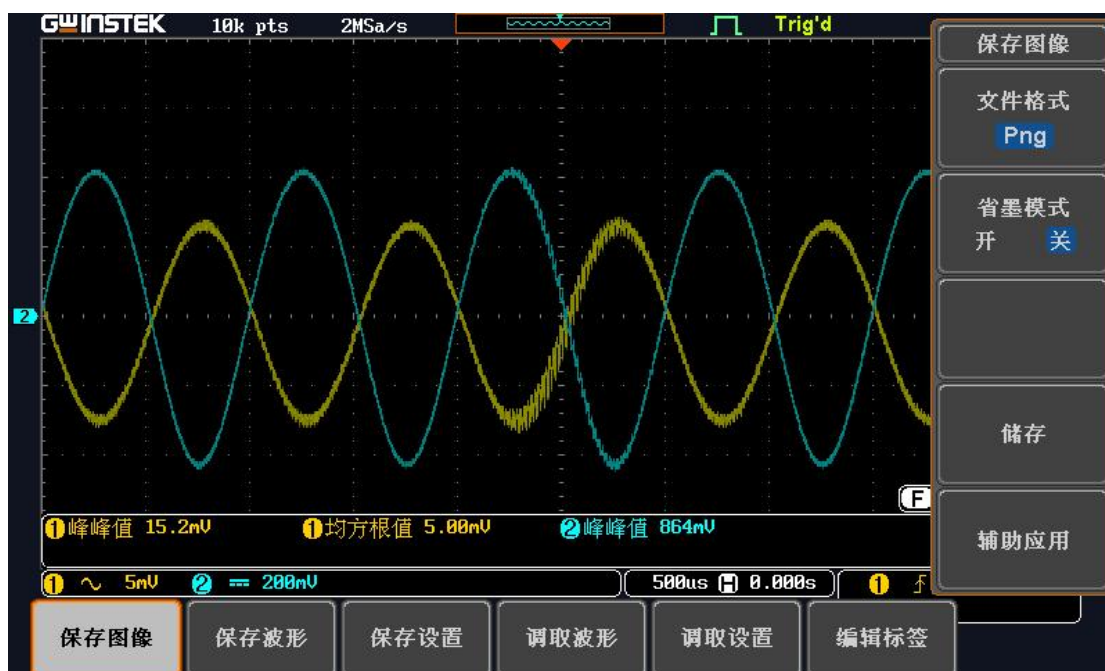


图 4

(2)不同静态工作点对输出波形的影响

		截止失真 ($U_s=30V_{rms}$)	饱和失真 ($U_s=20V_{rms}$)	RW 变化对失真的影响
测量值	UBQ/V	2.08625	2.989	
	UCQ/V	7.2318	4.3278	
	UEQ/V	1.45435	2.34109	
	波形	图 5	图 6	
计算值	ICQ/mA(=UCQ/1k)	7.2318	4.3278	
	UBEQ/V	0.6319	0.64791	
	UCEQ/V	5.77745	1.98671	
	R1/k Ω (=RW+10)	45.61	18.8348	

Rw 调大会使得 Uce 增大, Ic 减小, Q 点也即静态工作点下移, 所以会出现截止失真;
Rw 调小会使得 Uce 减小, Ic 增大, Q 点也即静态工作点上移, 所以会出现饱和失真。

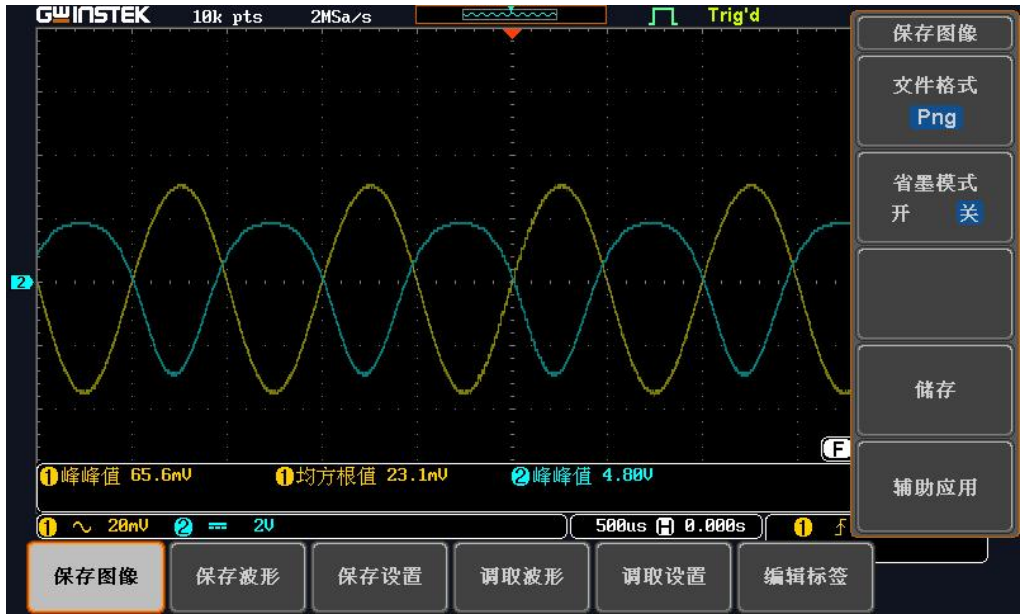


图 5

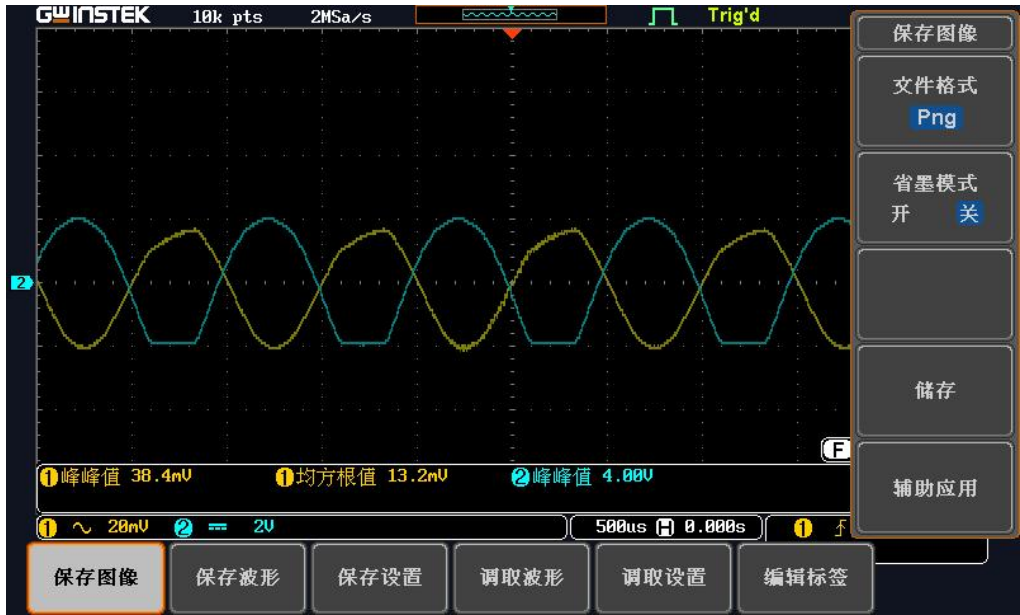


图 6

(3)最大不失真输出(图 7)

测量值	UBQ/V	2.5871
	UCQ/V	5.6218
	UEQ/V	1.9503
	UOPP/V	3.20
计算值	ICQ/mA	5.6218
	UBEQ/V	0.6368
	UCEQ/V	3.6715

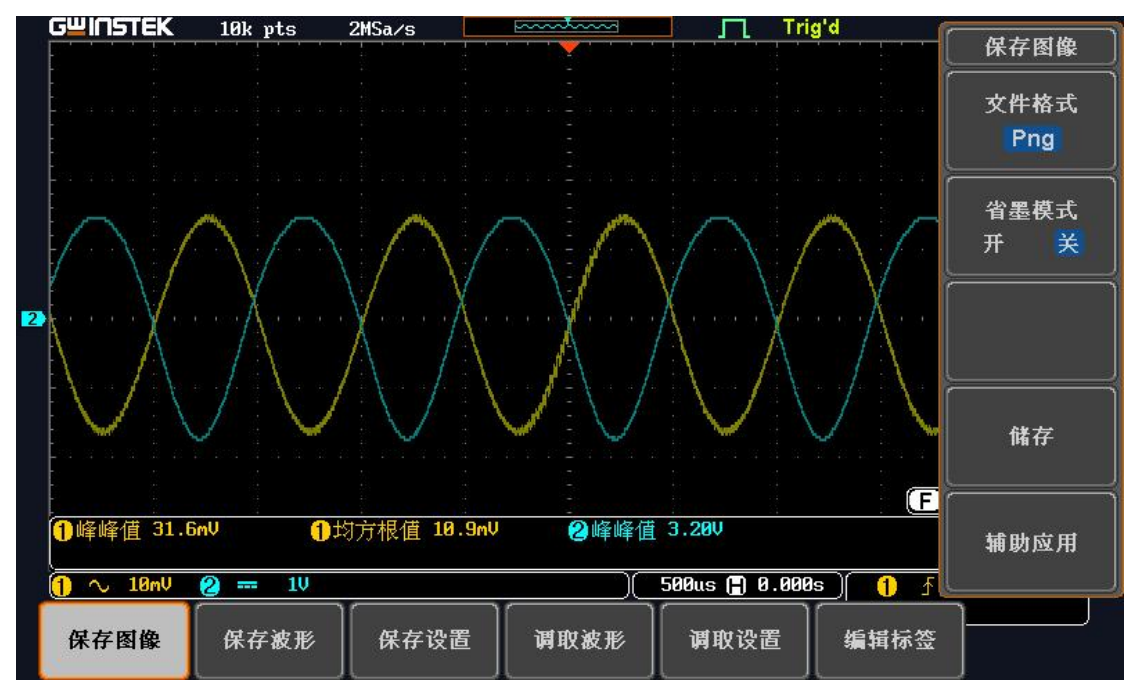


图 7

四、实验总结

这次实验我学到的是三极管放大电路，涉及到仿真、搭接、测量静态工作点、动态放大性能以及观察两种失真，在调整静态工作点时，要一手用万用表表笔测电压，一手调节电位器电阻值，会观察到万用表示数逐渐靠近目标值，即可调整到所需静态工作点；而后在寻找最大不失真输出时，操作顺序是加大输入，然后我是观察到截止失真，然后通过电位器的调节，失真消失，然后我再次加大输入直到看到失真，如此循环几次，到某一时间点会发现用电位器调节失真时，两种失真几乎同时出现，一个刚刚调好不失真了，马上又出现另一个失真，那么此时就是所谓最大不失真输出，记录波形以及用万用表测量静态工作点数据。

五、实验器材

E 派实验箱、示波器、信号源、稳压电源等

六、参考文献

《模拟电子电路实验》黄慧春 堵国梁 编著 东南大学出版社