

# 实验一 二极管和三极管的功能测试

## 1.1 实验目的

- 1.掌握基本实验仪器的使用，对万用表、信号发生器应能较熟练的使用。
- 2.学习二极管和三极管功能的测试方法，并判别晶体管的工作状态。
- 3.学习三极管的输入特性和输出特性的测量方法。

## 1.2 实验预习要求

- 1.复习二极管和三极管的工作原理及其在不同工作状态下的特性。
- 2.完成实验报告中的内容：实验目的、实验原理，实验电路图以及实验指导书要求的理论计算数据。
- 3.预习实验中所用到的实验仪器的使用方法及注意事项。
- 4.根据搭建的实验电路所得测试数据填入实验报告中。

## 1.3 实验仪器与器件

表 1-1 实验仪器与器件列表

	名称	数量	型号
1	远程实验平台	1 台	ELF-BOX3
2	信号发生器	1 台	DG4062
3	双通道数字示波器	1 台	Tek MSO2012B
4	电阻包	2 块	100Ω×1、1KΩ×1、20kΩ×1
5	数字电位器	2 个	-----
6	转接板	1 块	-----
7	二极管	1 个	1N4148
8	三极管	1 个	9013
9	电源 VCC+5V	1 个	-----
10	电源 VEE-5V	1 个	-----

## 1.4 实验原理

二极管是一种具有两个电极的半导体器件，由于其具有单向导电的性质，广泛应用于各种电子电路中。三极管，全称应为半导体三极管，也称双极型晶体管、晶体三极管，是一种控制电流的半导体器件，其作用是把微弱信号放大成幅度值较大的电信号，也用作无触点开关。

### 1.4.1 二极管的伏安特性曲线

二极管的伏安特性是指二极管通过的电流与外加偏置电压的关系，由图 1-1 可知伏安特性曲线主要由三部分组成。

1) 正导通特性

当正向电压开始增加时，正向电流几乎为零。硅管的导通电压约为 0.5V，锗管约为 0.1V。只有正向导通电压大于相应二极管的导通电压后，就可产生正向电流。二极管正偏导通后的管压降是一个恒定值，硅管和锗管分别取 0.7V 和 0.3V。

2) 反向截止特性

当外加反向偏压时，反向电流较小，基本可忽略不加。室温下，一般锗管的反向饱和电流小于 1 $\mu$ A。

3) 反向击穿特性

击穿特性属于反向特性的特殊部分。当反向偏压继续增大并超过某一特定电压值时，反向电流将急剧增大，这种现象称为击穿。

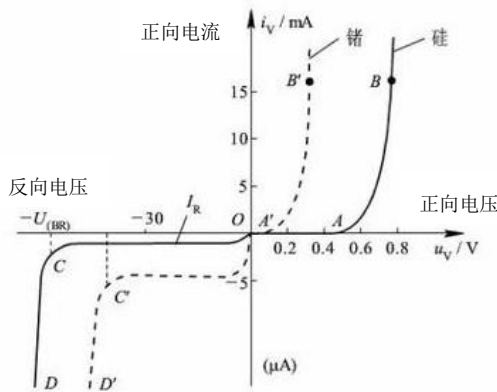


图 1-1 二极管的伏安特性

二极管的正向导通特性和反向截止特性可以通过搭建电路（如图 1-2 所示）进行观察得到。

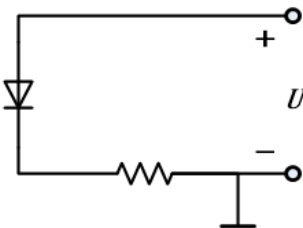
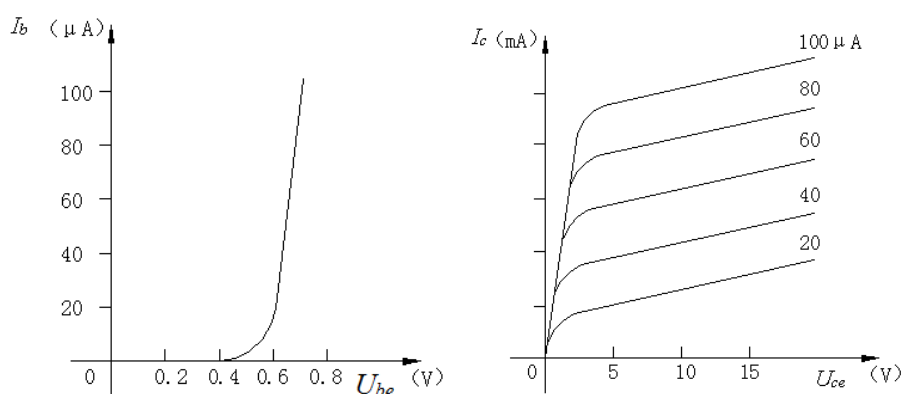


图 1-2 二极管的伏安特性测试电路图

### 1.4.2 晶体三极管的输入和输出特性

同一型号的晶体三极管由于分散性其参数差异很大，因此，在使用晶体三极管前需要测试它的特性，晶体管的特性曲线有输入特性曲线和输出特性曲线，输入特性曲线是指参变量  $U_{CE}=\text{常数}$  时， $I_B=f(U_{BE})$  的关系曲线；输出特性曲线是指参变量  $I_B=\text{常数}$  时， $I_C=f(U_{CE})$  关系曲线。对应不同的参变量，可得一族曲线，图 1-3 就是某个晶体三极管的特性曲线，从特性曲

线上可以求得管子的  $\beta$ ,  $I_{CEO}$  的参数, 上述特性曲线可以用逐点测试法测得。



(a) 输入特性 (b) 输出特性

图 1-3 三极管的特性曲线图

逐点测试法的测试电路如图 1-4 所示。图中  $R_{W1}$  用于调节基极电流  $I_B$ ,  $R_{W2}$  用于调节集电极电压  $U_{CE}$ , 测试输入特性时,  $R_{W2}$  用做调节参变量  $U_{CE}$ , 并在测试过程中保持  $U_{CE}$  正常数。测试输出特性时,  $R_{W1}$  用做调节参变量  $I_B$ , 逐点测试, 每给定一个参变量可测得一条特性曲线, 为了获得一族特性曲线, 需调节一系列  $I_B$  进行多次测量。

在放大电路中, 必须设置静态工作点, 图 1-5 为固定偏置电路, 调节偏置电阻  $R_b$ , 可以调节静态工作点。

晶体管的直流(静态)工作状态可以用万用表检测。当管子处于截止区时,  $U_{CE}=U_{CC}$ ; 管子处于饱和区时, 集电极正偏  $U_{CE}<U_{BE}$ ; 在实际工作中, 常用上述方法来判别放大电路是否正常工作。实验原理图如图 1-6 所示。

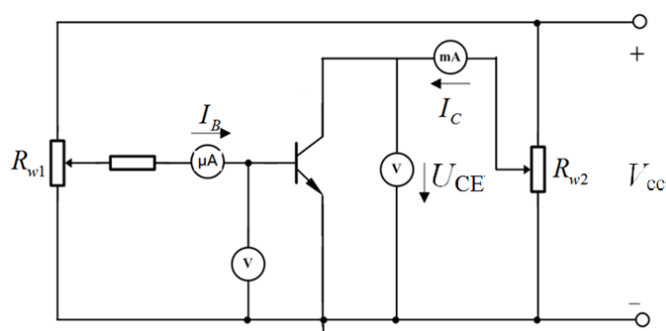


图 1-4 测试电路图

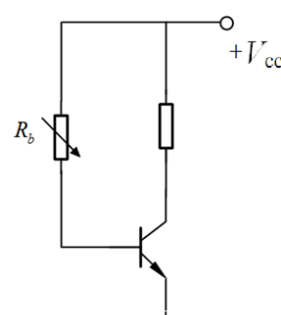


图 1-5 固定偏置电路

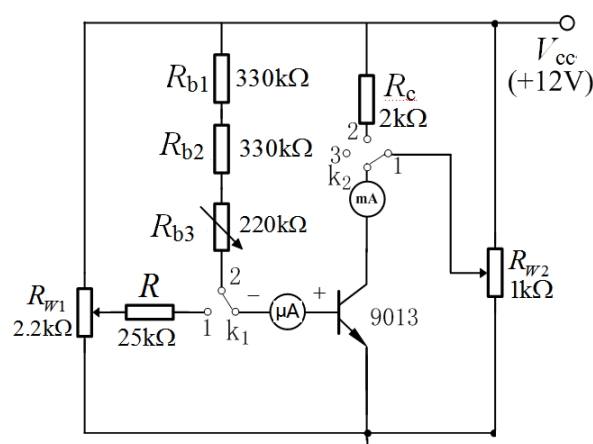


图 1-6 实验原理图

# 1.5 ELF-BOX3 使用步骤

## 1.5.1 选择“ELF-BOX”

1.在进行实验操作之前，登录 ELF-BOX 客户端软件（选择远程模式），弹出“预约检测”对话框。



图 1-7 登录客户端

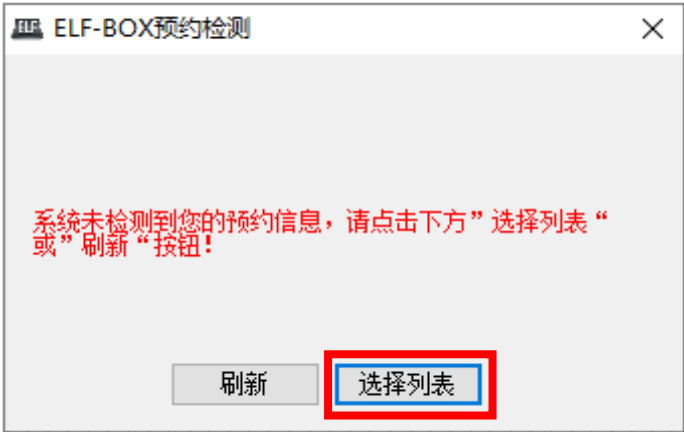


图 1-8 预约检测

2.点击“选择列表”，选择满足实验所需模块资源的机器台号（按照课前分配的台号进行选择），点击“连接”即可使用对应的 ELF-BOX 设备。



图 1-9 选择列表

## 1.5.2 选实验

3.点击“选实验”，选择具体的实验项目及对应的监测点模板。

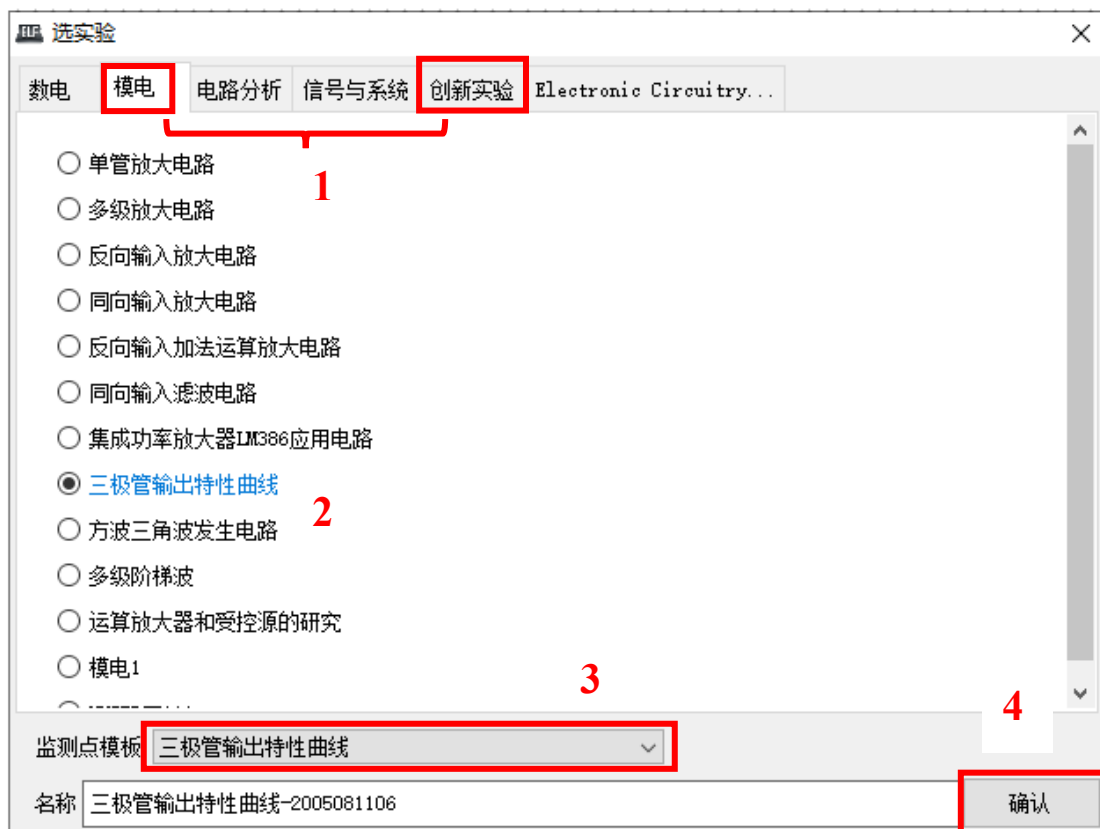


图 1-10 选 实验

注意事项：

在这里需要说明的是，二极管与三极管功能测试的实验项目在模电实验和创新实验中都可进行选择。

### 1.5.3 扫描、找仪器、摄像头

4.点击“扫描”，将放置在 ELF-BOX 硬件平台上的模块扫描到客户端软件上。

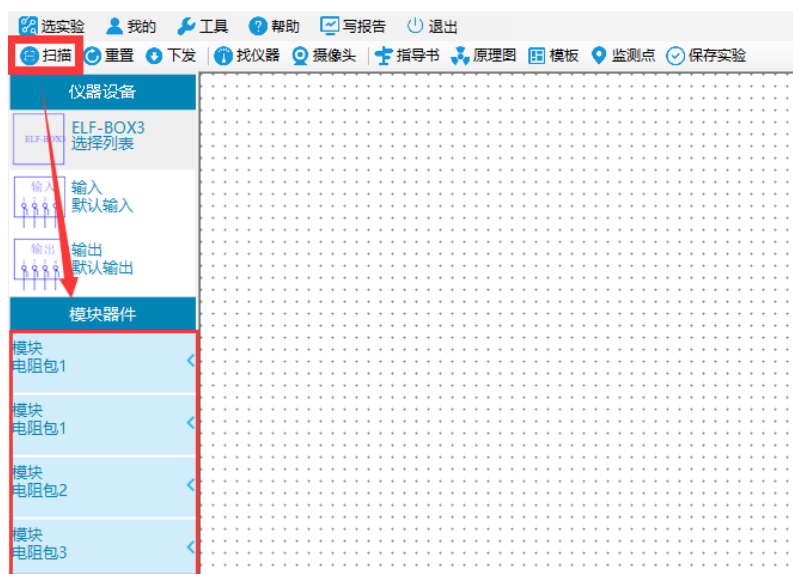


图 1-11 “扫描”功能说明

注意事项:

扫描完后,一定要核对实验平台中的仪器设备、模块器件、电源地中的实验仪器及元件是否齐全,包含信号源一台,示波器一台,电阻:  $1\text{k}\Omega\times 1$ 、 $10\text{k}\Omega\times 1$ 、 $20\text{k}\Omega\times 1$ , 数字电位器:  $100\text{k}\Omega\times 1$ , 转接板一块(转接板上集成了二极管和三极管,集成电路图如下图所示),  $\text{VCC}+5\text{V}$ ,  $\text{VEE}-5\text{V}$  和 GND。

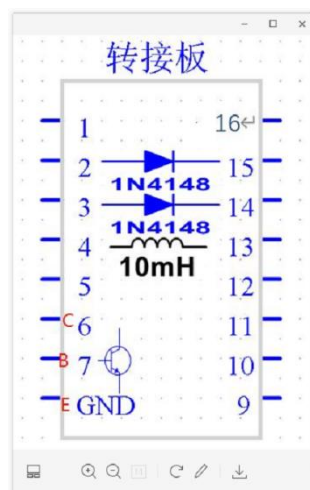


图 1-12 转接板

5. 点击“找仪器”，寻找与 ELF-BOX 连接的测量仪器。(若实际测量仪器未连接，则无法找到)。



图 1-13 找仪器功能说明

6. 点击“摄像头”，实时观察 ELF-BOX 平台现场实际情况。



图 1-14 摄像头功能说明

### 1.5.4 搭建电路

7. 将扫描上来的模块器件拖拽到画布区域（自主搭建电路，按实验指导书中的电路进行搭建电路），连接实验电路（以二极管伏安特性的测量为例）。

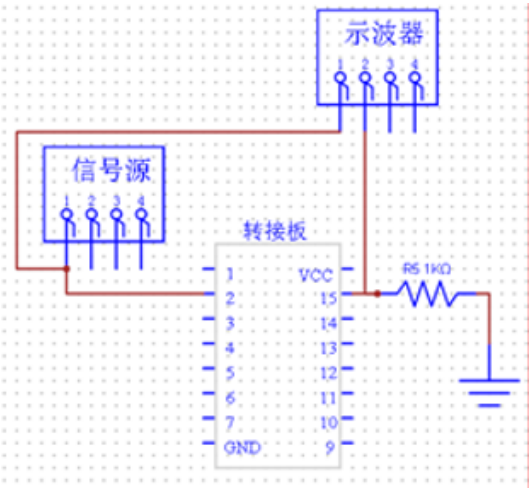


图 1-15 二极管的伏安特性测试电路图

注意事项：

扫描上来的模块可以任意互联，自主设计搭建电路。

### 1.5.5 下发电路

8. 点击“下发”，上位机连线映射到硬件底层。只有点击了“下发”，线路才能生效。

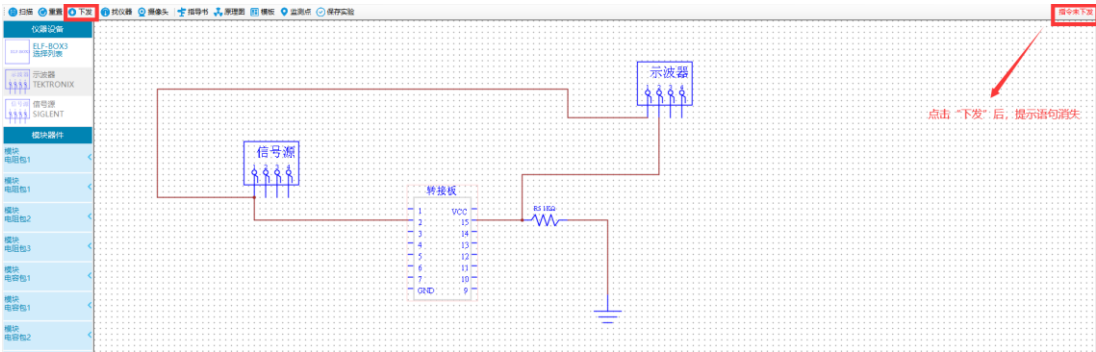


图 1-16 下发电路

注意事项：

每次改变电路，都要重新点击“下发”。

### 1.5.6 调节仪器

9. 调节信号源

双击“信号源”图标，打开信号源控制界面，对仪器进行远程控制。这里我们调节信号源，要使 CH1 输出的信号为正弦信号，以频率为 1000Hz，幅度 200mv 的正弦信号为例，设置步骤如下：





图 1-17 信号源设置步骤

以信号源输出 2.5V 的直流电压为例，设置步骤如下：



图 1-18 直流电压 2.5V 设置步骤

## 10. 调节电位器



双击“数字电位器”，改变阻值大小，调节静态工作点。

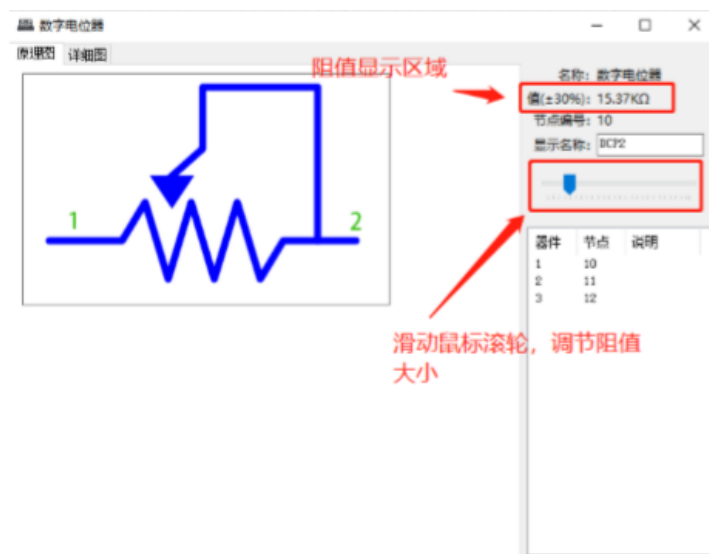


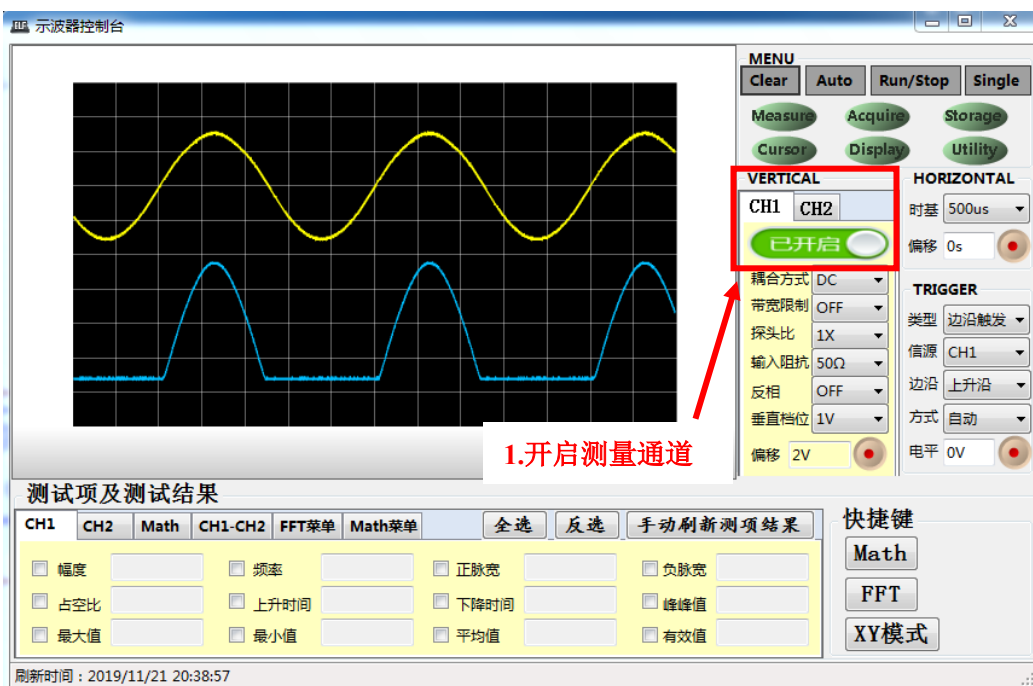
图 1-19 调节电位器

## 11. 调节示波器

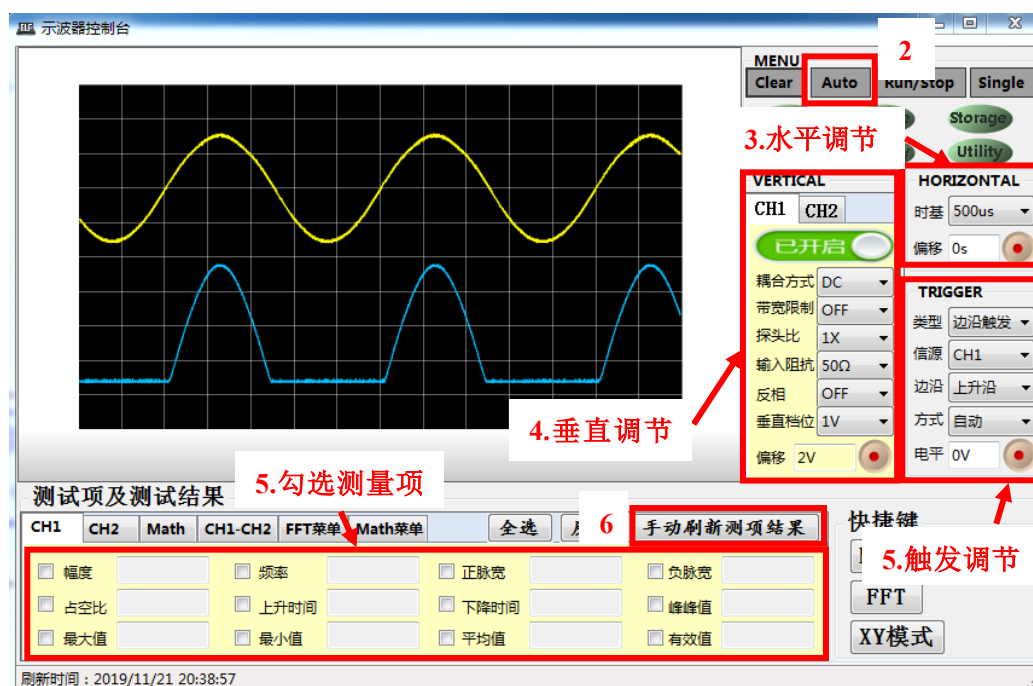
双击“示波器”，观察输出信号。

示波器操作步骤：

- A. 打开相应的测量通道。



B. 点击“Auto”，若波形不稳定则可调节水平、垂直及触发档位，使波形正常显示



注意事项：

示波器面板上的 AUTO 在信号较大时可以正确获得测量波形。但是在信号较小时，该功能失效，需要手动调节时基以及垂直灵敏度。

C. 勾选测量项，点击“刷新测量结果”即可获得测量数据（每次波形发生变化要获取最新测量数据都需要“刷新测量结果”）。

## 1.6 实验步骤

### 1.6.1 测量二极管的单向导电性

- 1.按图 1-20，在 ELF-BOX3 实验台的画布区域自主搭建电路。
- 2.设输入信号为正弦信号，频率为 1kHz，峰峰值为 4V（ELF-BOX3 中的幅值设定为峰峰值）。此信号从信号源取出，用示波器检测。示波器的 CH1 接 a 点，示波器的 CH2 接 b 点，搭建好之后单击下发，下发成功后双击示波器查看测试结果（a 和 b 点的波形），保存电路图并截图示波器测量界面。
- 3.保持信号的频率不变，改变输入信号的电压大小为 1Vpp，重复上述步骤，依次保存相应波形结果。

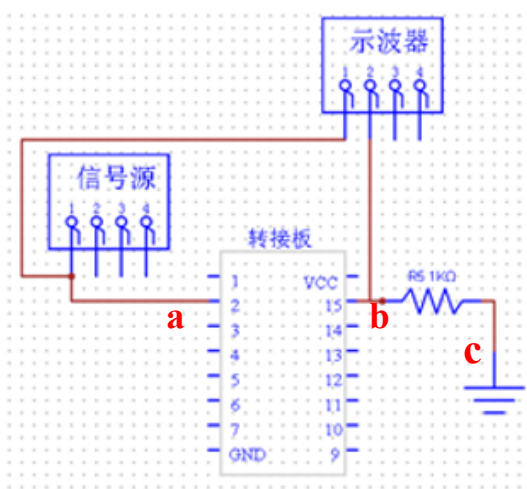


图 1-20 二极管的单向导电性测试电路图

注意事项：

- 1.该平台输入信号范围是±5V，超过这个电压会被钳位在这个范围内。
- 2.实验过程中实验电路保存到我的模板。在系统出现故障时，重新实验不需再重新搭建电路。

### 1.6.2 测量晶体三级管的输入特性

#### 1.6.2.1 测量晶体三级管的输入特性 1

- 1.使用三极管 9013（集成在转接板上，管脚参照图 1-12），在 ELF-BOX3 实验台的画布区域自主搭建该电路如图 1-22 所示，搭建好后点击下发，下发成功后双击示波器查看测试结果。
2. $U_i$  接入信号源，信号源的直流电压设置方法参照图 1-18，设置直流输入电压为 0。将示波器的 1、2 通道分别接于节点 a、b，测试这两点的电位，（GND 接地端 c 点，作为参考节点， $V_E = 0$ ）。
- 3.用示波器测量错误!未找到引用源。2 中 a、b 节点电位，将测量结果记入错误!未找到引用源。中（此实验的所有测算的实验数据精确到小数点后三位）。
- 4.改变  $U_i$  (a 点电位，数值大小如表 1-2)，重复上述步骤，利用示波器读出相应的  $U_{BE}$  值 (b 点电位)。手工将结果记录在 excel 表格中，其中  $I_B = (U_i - U_{BE}) / R$  即可整理出  $I_B = f(U_{BE})|_{U_{CE}=0V}$  的

输入特性曲线，并分析数据。

5. 保存电路图以及截图示波器测量界面。

注意事项：

1.ELF-BOX3 实验台画布区域中的电压源、示波器已经采用集中的方式，将负端在实验装置内部接地。

2. 由于装置内部共地，采用示波器测试电压只能测试基于 GND 的该节点的电位值，根据元件或支路两端点测得得电位值计算出所需得电压。

3. 设置示波器的通道的耦合方式为: DC，带宽限制为: OFF，探头比为 1X，输入阻抗为  $1\text{M}\Omega$ （相当于真实示波器的高阻设置）。如果示波器屏幕里有紫色波形，打开示波器的 Math 菜单，将该功能关闭。注意电压的正负值。

4.测量精度与垂直灵敏度有关。例如，信号源输出直流 3V，示波器的测量值在不同档位设置下数值不同。档位越大，误差越大。示波器测量一般是波形在垂直处有 3-4 格左右，测量结果最为准确。

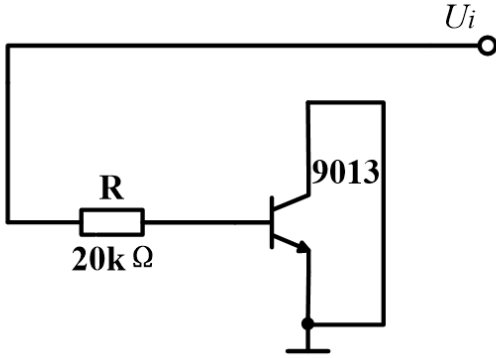


图 1-21 晶体管输入特性测试原理图 1

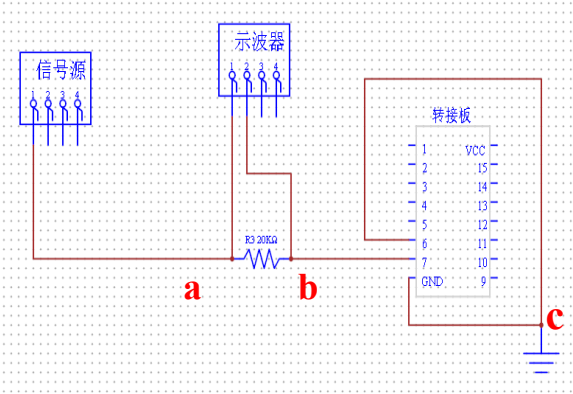


图 1-22 晶体管输入特性测试电路图 1

### 1.6.2.1 测量晶体三级管的输入特性 2

1.按图 1-23 在 ELF-BOX3 实验台的画布区域接线自主搭建电路，信号源 CH2 直接与三极管集电极连接。设置信号源 CH2 输出 2V 的直流电，使  $U_{CE}=2\text{V}$ ，并保持不变。直流电压的信号源设置步骤参照图 1-18。保存电路图以及截图示波器测量界面。

2. 改变  $U_i$  (a 点对地的电压) 的值，如表 1-2 所示，利用示波器平均值测量键读出相应



### 1.6.3 测量晶体三级管的输出特性

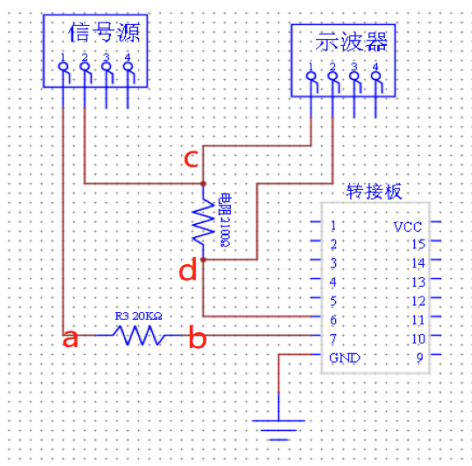


图 1-24 晶体管输出特性测量原理图

1.在 ELF-BOX3 实验台的画布区域接线自主搭建电路如图 1-24 所示,并将示波器的 CH1 和 CH2 连接到 a、b 点。对信号源 CH2 通道进行设置,信号类型选择为“Arb”,偏移设定为 2.5V,使信号源的第二通道输出了 2.5V 的直流电压,具体设置步骤参照图 1-18。保存电路图并记录后续步骤相关数据。

2.在信号源 CH2 为 2.5V 直流电压情况下,改变  $U_i$ ,使  $U_i$  的值分别为 0.89V、0.93V、0.97V。测量并记录如图所示的 a、b 的电压,其中 a 点电压为  $U_i$ ,b 点电压为  $U_{BE}$ 。根据  $U_{BE}$  电压计算出实际的  $I_B$  值,其中  $I_B=(U_i-U_{BE})/R_b$ 。此时的基极电流  $I_B$  参考值为 10 $\mu$ A、12 $\mu$ A、14 $\mu$ A,实际值按上述步骤计算。出于简化实验步骤的考虑,后续实验中不再测量 a 点、b 点电压,认为  $I_B$  近似不变。

3. 将示波器的 CH1、CH2 连接至 c、d 点。改变信号源 CH2 通道的直流电压  $U_{CE}$  如表 1-3 所示, 测量并记录 c 点、d 点的实际电压, 其中 c 点电压为  $V_{CC}$  的实际测量值, d 点电压为  $U_{CE}$  实际测量值。

4.改变  $U_i$  后重复 3 步骤,在表 1-3 记录测量数据。对所得测量值进一步处理,在同一个坐标系下,分别做出  $I_C=f(U_{CE})|_{I_B=\text{常数}}$  的特性曲线,并分析数据。其中,  $I_C=(V_{CC}-U_{CE})/R_C$ 。

表 1-3 晶体管的输出特性曲线测试表格

[illegible]

## 1.7 实验思考题

1. 根据表 1-3 的数据，取  $U_{CE}=2.5V$  左右时的实验数据，求晶体管的  $\beta$  值。

## 1.8 实验报告要求

1. 原始测量数据在课堂上需要老师确认；
2. 实验步骤、数据处理过程需要写在实验报告上；
3. 实验结果分析及实验结论要根据实验结果给出；
4. 实验思考题需要写在实验报告中；
5. 实验体会、意见和建议写在实验结论之后。