

# 浙江大学实验报告

专业： 电子信息工程

姓名： 邢毅诚

学号： 3190105197

日期： 2020-10-12

地点： 东三-406

课程名称： 电路与电子技术实验

指导老师： 祁才君

成绩：

实验名称： 三极管和门电路特性测试

实验类型： 验证实验

同组学生姓名： 郑冰阳

## 一、 实验目的

- (1) 掌握半导体三极管特性测试
- (2) 掌握门电路电气特性测试
- (3) 学习 MULTISIM 电路仿真软件的使用

## 二、 实验基本内容

### 1. 实验内容

#### (1) 万用表测量三极管

- 判别三极管类型，E/B/C 三极，测量放大倍数
- 测量  $V_{CE} = 0V; 1V; 5V$  条件下的输入特性
- 测量  $I_B = 2.5\mu A; 5\mu A; 7.5\mu A; 10\mu A$  条件下输出特性

#### (2) 用 MULTISIM 仿真分析三极管特性

- 测量  $V_{CE}=0V; 1V; 5V$  条件下的输入特性
- 测量  $I_B = 2.5\mu A; 5\mu A; 7.5\mu A; 10\mu A$  条件下输出特性

#### (3) 测量与非门的逻辑功能

- 给定与非门输入高低电平组合，测量不同组合下的输入输出电压，并转换成真值表

#### (4) 与非门传输特性测量

- 逐点输入直流电压，测量其传输特性
- 输入 0 至 5V 变化的电压，利用扫描法测量传输特性

#### (5) 与非门输入电流测量

- 输入 0、0.2V、0.4V 低电平时的输入电流
- 输入 2.4V、3.6V、4V、5V 高电平时的输入电流

#### (6) 与非门输出电流测量

- 输出低电平，不同负载电阻时的输出电平和输出电流
- 输出高电平，不同负载电阻时的输出电平和输出电流

## 2. 实验原理

### (1) 万用表测量三极管

- 判别三极管类型，E/B/C 三极，测量放大倍数

三极管有两种不同的型号：PNP 型和 NPN 型。其等效电路如下图所示：

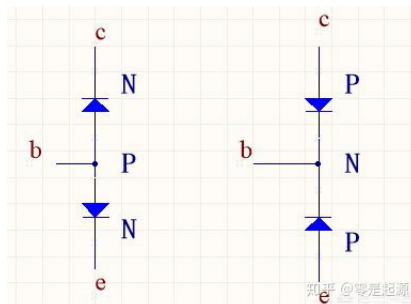


图 1: NPN 晶体管与 PNP 晶体管等效电路

在判断三极管类型时，我们任意选取一端，使用数字万用表二极管挡位测量此端与另外两端之间是否导通（红表笔接选定端）。若测得存在一端与另外两端均导通，则此三极管型号为 NPN 型三极管，且此端为 b 端。若测得存在一端与另外两端均不导通，则此三极管型号为 PNP 型三极管，且此端为 b 端。

在测得三极管的型号之后，我们可以使用数字万用表 hFE 挡位来判断三极管的发射极和集电极。当三极管插入如图所示的位置时，若三极管插入位置正确，则数字万用表上会显示较大的三极管放大倍数 ( $>100$ )，若三极管的 CE 极插入相反，则数字万用表上会显示较小的三极管放大倍数 ( $<10$ )，若为其他情况，则数字万用表上不会显示示数。

另外 hFE 的挡位显示的放大倍数为 0-1000，其测试条件为  $I_{be} \approx 10\mu A$ ,  $V_{ce} \approx 3V$



图 2: 数字万用表 hFE 挡位

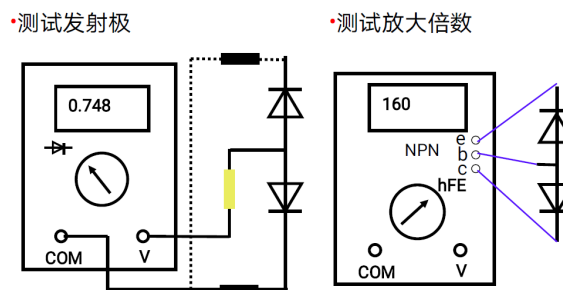
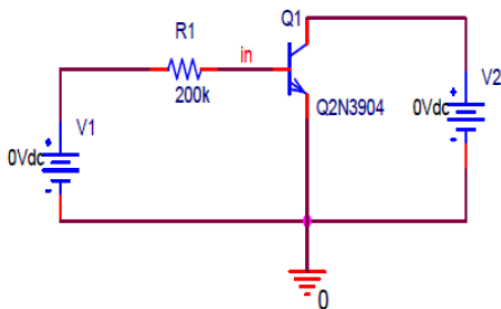


图 3: 测量三极管原理图

- 测量  $V_{CE} = 0; 1V; 5V$  条件下的输入特性

测量三极管的输入 VA 特性如下图所示，使用两个数字万用表分别测量通过 R1 的电流以及三极管 BE 两端的电压，限定 V1 的输出最大电流为 1mA，并将其电压调至最小，逐渐增大并逐点进行测量，最后根据所得的数据绘制输入特性曲线。



V1, V2

图 4: 测量三极管输入特性电路图

而三极管的输入特性曲线如下图所示，在测量完毕后，将测量图像与此图像进行比较，即可验证三极管的输入特性曲线。

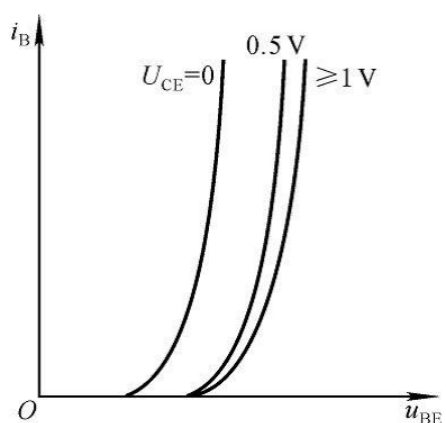


图 5: 三极管输入特性曲线

- 测量  $I_B = 2.5\mu\text{A}; 5\mu\text{A}; 7.5\mu\text{A}; 10\mu\text{A}$  条件下输出特性

测量输出曲线的电路图如下所示，使用三个数字万用表分别测量通过 R1 的电流，三极管 CE 两端的电压，以及通过 R2 的电流

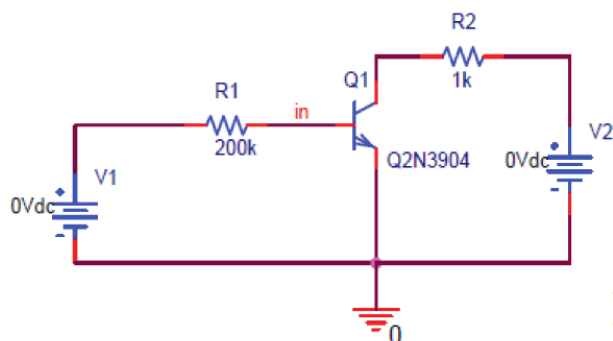


图 6: 测量三极管输出特性图

在测量同一组数据的过程中，我们要保持通过  $R1$  的电流不变。这主要通过调节  $V1$  来完成，而调节三极管  $BE$  的分压以及通过  $C$  端的电流，主要通过调节  $V2$  来完成，因此，在测量过程中，我们需要先调节  $V2$ ，再调节  $V1$  直至通过  $R1$  的电流恢复为原来的数值。在测量开始时，应限定  $V1$ ,  $V2$  的最大输出电流为  $1\text{mA}$ ，防止因不注意而导致电流过大从而损坏仪器。另外，在测量最开始时，我们要将电压调至最小，逐步增大并逐点进行测量，最后根据所得的数据绘制输出特性曲线。而三极管的输出特性曲线如下图所示，在测量完毕后，将测量图像与此图像进行比较，即可验证三极管的输出特性曲线。

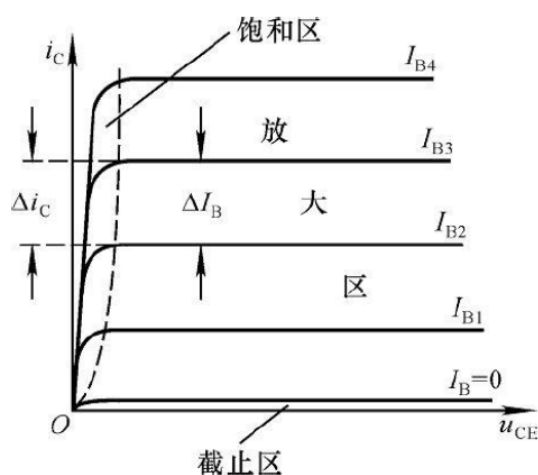


图 7: 三极管输出特性曲线

## (2) 用 MULTISIM 仿真分析三极管特性

- 测量  $V_{CE}=0\text{V}; 1\text{V}; 5\text{V}$  条件下的输入特性

MULTISIM 是一种电路仿真工具，可以模拟实际电路中的数据。在 MULTISIM 中，我们按照下图连接电路，并在特定地点添加探针。探针是 MULTISIM 提供了一种工具，可以用于观察探针处的电路数据 (如：电流，电压等等)。同时，MULTISIM 中还提供了电键 (相当于电位器)，可以改变其电阻，进而调节三极管的分压，进而改变其电流等等

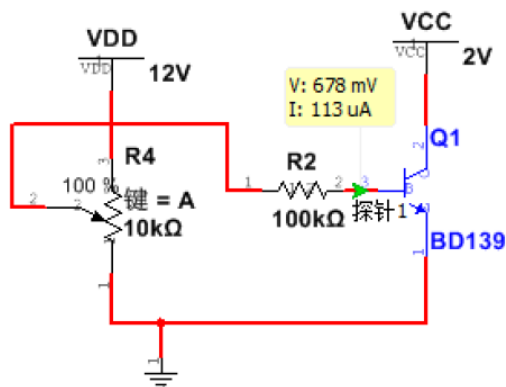


图 8: 测量三极管输入特性电路图

按照图示连接电路后，将电键调至最小，并逐步增大（最开始变化较为明显，增大速度应较慢），并记录其探针此时显示的电压与电流，并根据此绘制三极管的特性曲线。

同时，我们可以改变  $V_{CC}$  以改变 CE 两端的电压，进而绘制不同条件下的特性曲线。

- 测量  $I_B = 2.5\mu A; 5\mu A; 7.5\mu A; 10\mu A$  条件下输出特性

在 MULTISIM 中，按照下图所示连接电路，将电键调至最小，并逐步增大（同理，组开始变化较为明显，增大速度应较慢），并记录此时探针 1 此时显示的电压与电流，并根据此绘制

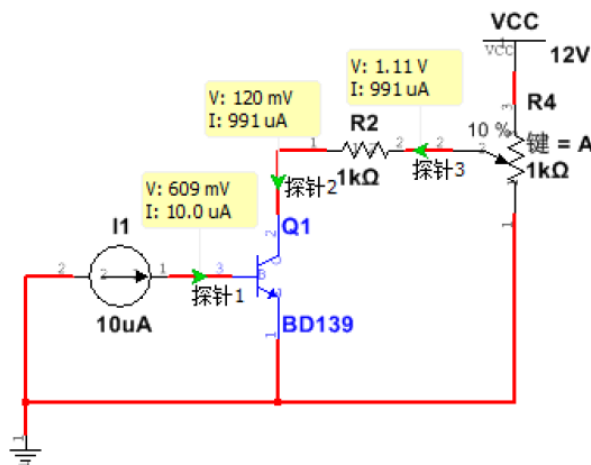


图 9: 测量三极管输入特性电路图

同时，我们可以改变  $I_1$  的电流，以改变输入电流，进而绘制不同条件下的特性曲线。

- 扫描法测量特性曲线

另外，我们可以通过扫描法来测量三极管的特性曲线，MULTISIM 中具有仿真分析功能，可以模拟出二极管在不同情况下的电压和电流，测量输入特性曲线的电路图如下图所示：

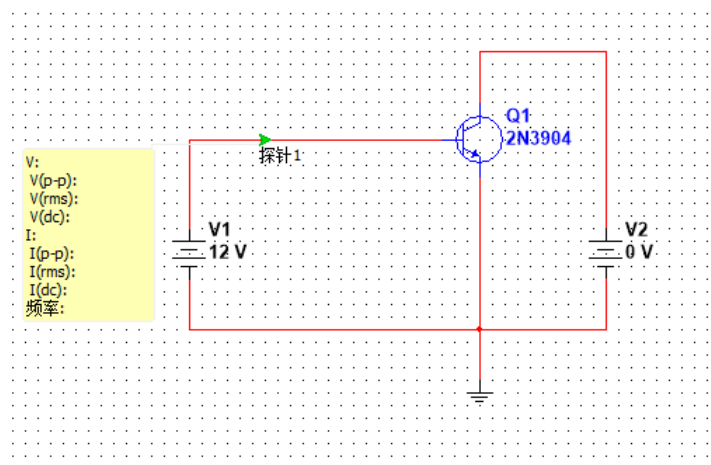


图 10: 扫描法测量输入特性曲线电路图

在开始时，设定  $V_2$  电压为 0(由于  $V_2$  不同，在仿真后图线的形状大致相同，因此我们选择将  $V_2$  设定为 0V，并由此情况进行分析)，在“仿真”选项中选择直流分析，并将  $V_1$  设置为变量，从 0-1V 逐渐变化，并添加探针处的电流作为观察量，开始仿真，并记录其图像。在常规测量电路时，我们应在  $V_1$  与三极管之间加一个保护电阻，而这样便导致了无法直接测得电压，需要再设置一个观察量来观察电压。而在 MULTISIM 中，观察仿真后电流与电压的关系图并不是很容易获得，我们便选择将电阻去掉，使电源电压直接等于三极管 B 端的电平，以减少变化量，此时图像的横坐标便为三极管 B 端的电压，而纵坐标为通过三极管 B 端的电流，进而我们可以获得输入的特性曲线。

测量输出特性曲线的电路图如下所示：

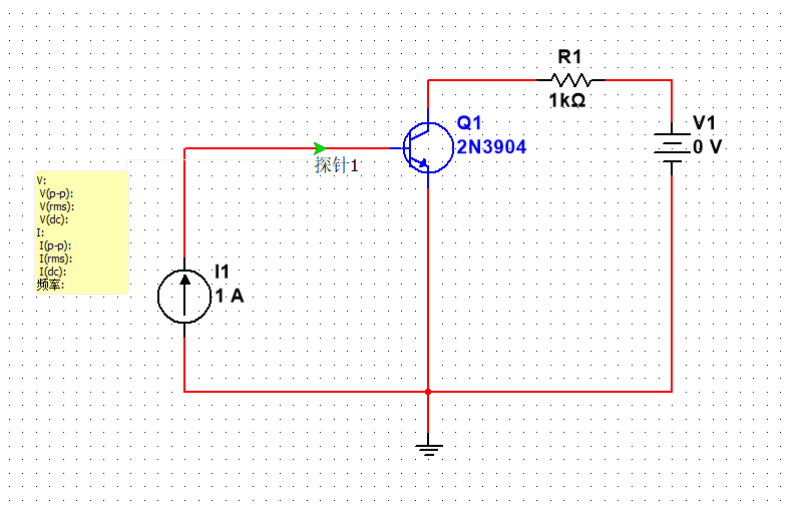


图 11: 扫描法测量输出特性曲线电路图

在开始时，设定  $V_2$  电压为 0(由于  $V_2$  不同，在仿真后图线的形状大致相同，因此我们选择将  $V_2$  设定为 0V，并由此情况进行分析)，在“仿真”选项中选择直流分析，并将  $I_1$  设置为变量，从 0-0.005A 逐渐变化，并添加探针处的电压作为观察量，开始仿真，并记录

其图像 (此时获得的图像为三极管的输出安伏特性曲线)。

另外，由于在仿真系统中，三极管并不存在着损坏的问题，我们可以调大  $I_1$  电流以观察三极管特性曲线的后续情况。

### (3) 测量与非门的逻辑功能

与非门的电路图如下图所示，每三个端口组成一个逻辑电路，其中 14 号端口用于连接 5V 电压，以提供能量，7 号口用于接地。在测试非门功能时，我们输入接数据开关，而输出接 LED 指示灯，并测量与非门输入和输出的电压值，并将与非门的输入输出电平值转换成逻辑，并与 LED 指示灯进行对比，观察是否正确。当输入或输出为低电平时，其电平应当在 0-0.4V 之间，而输入或输出为高电平时，其电平应当在 2.4V 到 5V 之间。

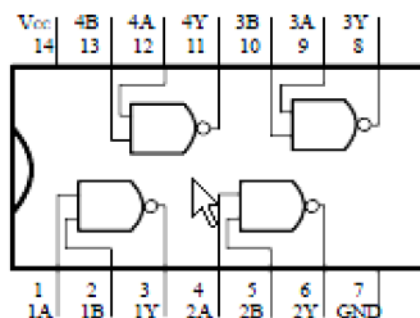


图 12: 门电路逻辑电路图

### (4) 与非门传输特性测量

- 逐点输入直流电压，测量其传输特性

测量与非门的传输特性的电路图如下图所示，其中  $V_0, V_1$  为电压表，用于测量 2, 3 电的电位。连接电路后，调节电位器，使  $V_1$  在 0-5V 之间变化，用万用表测量，记录相应的输入电压  $V_1$  和输出电压  $V_0$  的值并填入表中，并在坐标系中画出电压传输特性。

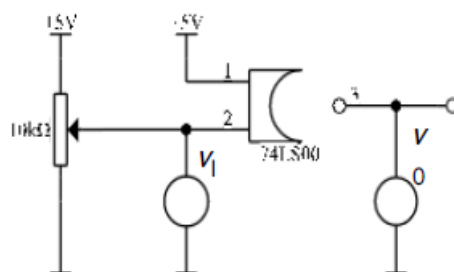


图 13: 测量门电路传输特性电路图

- 输入 0 至 5V 变化的电压，利用扫描法测量传输特性

使用扫描法测量门电路的传输特性的电路图如下图所示，信号源输出峰峰值为 10V 的正弦波。将时基模式调至 X-Y 挡位后，即可观察到门电路的传输特性。

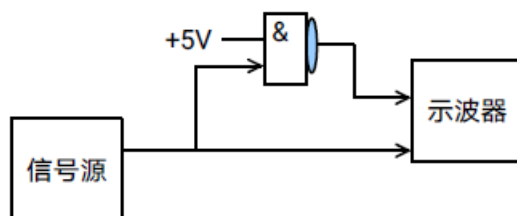


图 14: 扫描法测量门电路传输特性电路图

## (5) 与非门输入电流测量

- 输入 0、0.2V、0.4V 低电平时的输入电流
- 输入 2.4V、3.6V、4V、5V 高电平时的输入电流

测量与非门的输入电流的电路图如下所示，两个电压表分别用于测量输入电压和输出电压，通过测量观察输入电压表的数值以及电阻值，我们可以进而算出输入电流的数值。但在进行测量的过程中，我们发现此类方法并不能准确的调节到我们想要的电压，同时阻值也难以进行测量，因此我们选择将 S 处更改为一个稳压源，将电位器替换为一个稳定的电阻，通过调节直流稳压源的输出电压值进而确定输入的电压值。

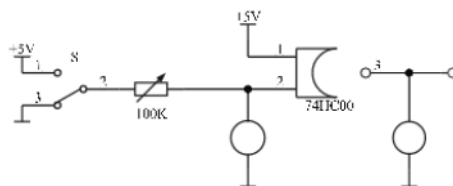


图 15: 测量门电路输入特性电路图

## (6) 与非门输出电流测量

- 输出低电平，不同负载电阻时的输出电平和输出电流
- 输出高电平，不同负载电阻时的输出电平和输出电流

测量与非门的输出的电路图如下图所示，在测量时使用万用表测试，将  $V_o$  随  $R_L$  变化曲线的值填入表中，并计算出集成门电路的输出负载电流，并在坐标系中画出输出端负载的特性曲线。同时，为了便于调节，我们将图中  $R_L$  的两个电阻合并并替换为一个电阻。（在测量电阻  $R_L$  时需注意，每次测量  $R_L$  的电阻时，需要将其从电路中断开，以免连接的电路影响电阻的测量值。



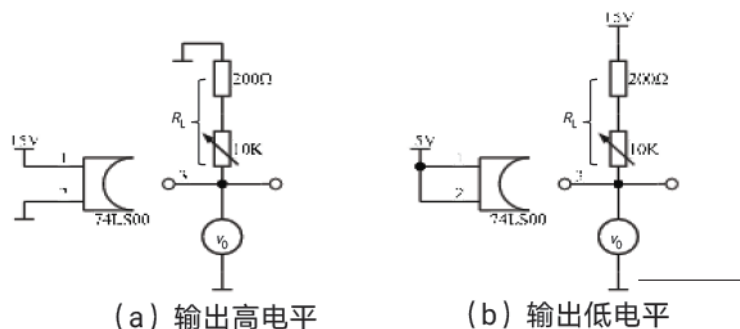


图 16: 测量门电路输出特性电路图

### 三、 主要仪器设备

- (1) Keysight DSOX1102G 示波器
- (2) RIGOL DG1022U 信号源
- (3) GWINSTEK GPD4303S 稳压源
- (4) 求是 MADCL-1 实验箱
- (5) 优利德 UT890D+ 数字万用表
- (6) 探头线, 导线若干
- (7) 74LS00 门电路, Q2N3904 三极管等
- (8) 电阻, 电位器若干

### 四、 操作方法和实验步骤

#### (1) 万用表测量三极管

- 判别三极管类型, E/B/C 三极, 测量放大倍数
  - (1) 检查实验仪器是否可以正常使用, 有无缺失, 检查无误后, 取出数字万用表并打开数字电子技术实验箱, 选取三极管以进行测量。
  - (2) 将数字万用表调至二极管挡位, 任选一端 (与红表笔相连), 测量此端与另外两端是否导通, 若测得存在一端与另外两端均导通, 则三极管型号为 NPN 型, 且此端为 B 极。否则, 此三极管型号为 PNP 型, 若测得一端与另外两端均导通, 则此端为 B 极
  - (3) 将数字万用表调节至 hFE 挡位, 将三极管插入右上角的插孔 (如图 2 所示), 进而判断其各极, 并读出其放大倍数
- 测量  $V_{CE} = 0V; 1V; 5V$  条件下的输入特性
  - (1) 检查实验仪器是否可以正常使用, 有无缺失, 检查无误后, 按照图 4 所示连接电路、
  - (2) 使用两个数字万用表分别测量通过  $R_1$  的电流以及三极管 bc 两端的电压
  - (3) 调节  $V_2$  输出电压为 0V, 限定  $V_1$  的输出最大电流为 1mA, 并将其电压调至最小, 逐渐增大并逐点进行测量, 测量完毕后, 将  $V_2$  的电压分别调至 1V, 5V, 重复此步骤。

(4) 整理数据，并根据所得数据绘制图像。

- 测量  $I_B = 2.5\mu A; 5\mu A; 7.5\mu A; 10\mu A$  条件下输出特性

- (1) 检查实验仪器是否可以正常使用，有无缺失，检查无误后，按照图 5 所示连接电路、
- (2) 使用三个数字万用表分别测量通过  $R_1$  的电流，通过  $R_2$  的电流以及三极管 CE 两端的电压
- (3) 调节  $V_2$  输出电压为 0V，限定  $V_1$  的输出最大电流为 1mA，调节  $V_1$  使通过  $R_1$  的电流为  $2.5\mu A$ 。逐步增大  $V_2$ ，在每次读数前需调节  $V_1$  使得通过  $R_1$  的电流为  $2.5\mu A$ 。测量完毕后，将通过  $R_1$   $5\mu A$ ， $7.5\mu A$ ， $20\mu A$ ，重复此步骤进行实验。
- (4) 整理数据，并根据所得数据绘制图像。

(2) 用 MULTISIM 仿真分析三极管特性

- 测量  $V_{CE}=0V;1V;5V$  条件下的输入特性

- (1) 打开 MULTISIM，按照要求绘制电路
- (2) 设置  $V_{cc}$  的电压为 0V，将电键 A 阻值调至最小。开始模拟，逐步调节电键，并记录探针所示的电流，电压。测量完毕后，结束运行，将  $V_{CC}$  分别调至 1V，5V，重复此步骤。
- (3) 整理实验数据，并根据实验数据绘制三极管的特性曲线

- 测量  $I_B = 2.5\mu A; 5\mu A; 7.5\mu A; 10\mu A$  条件下输出特性

- (1) 打开 MULTISIM，按照要求绘制电路
- (2) 设置 I1 的电流为  $2.5\mu A$ ，将电键 A 阻值调至最小。开始模拟，逐步调节电键，并记录探针 1 所示的电流，电压。测量完毕后，结束运行，将 I1 分别调至  $5\mu A$ 、 $7.5\mu A$  和  $10\mu A$ ，重复此步骤。
- (3) 整理实验数据，并根据实验数据绘制三极管的特性曲线

- 扫描法测量特性曲线

- (1) 打开 MULTISIM，按照要求图 8 绘制电路
- (2) 设置 V2 的电压为 0V，使用 MULTISIM 中”仿真”选项的”分析”中的”直流扫描”，调节 V1 的变化范围为 0V-1V，在三极管 B 端设置探针，将通过探针的电流作为观察变量，开始仿真。
- (3) 待图像稳定后，记录图像
- (4) 按照图 9 所示绘制电路
- (5) 设置 V2 的电压为 0V，使用 MULTISIM 中”仿真”选项的”分析”中的”直流扫描”，调节 I1 的变化范围为 0A-0.005A，在三极管 B 端设置探针，将 E 点的电平作为观察变量，开始仿真。
- (6) 整理实验数据，并根据实验数据绘制三极管的特性曲线

(3) 测量与非门的逻辑功能

- 给定与非门输入高低电平组合，测量不同组合下的输入输出电压，并转换成真值表

- (1) 检查实验仪器是否可以正常使用，有无缺失
- (2) 连接电路，将 1 号端口，2 号端口分别与下方的数据开关相连，3 号端口与 LED 灯相连，7 号端口接地，14 号端口接 5V 电压，打开实验箱开关进行实验。

- (3) 将数据开关分别置于“00”，“01”，“10”，“11”四种状态，记录 LED 灯的情况，同时，使用数字万用表电压挡位分别测量 1, 2, 3 号端口的电压并记录数据
- (4) 记录数据并进行分析

#### (4) 与非门传输特性测量

- 逐点输入直流电压，测量其传输特性
  - (1) 检查实验仪器是否可以正常使用，有无缺失
  - (2) 按照图 13 连接电路，将电位器调至阻值最小，打开实验箱开关，逐步增大电阻器的阻值，记录数字万用表  $V_0, V_1$  的数据
  - (3) 将电位器阻值调至最大，逐步减小电阻器的阻值，记录数字万用表  $V_0, V_1$  的数据
  - (4) 测量完毕后，关闭电源并整理实验仪器。
- 输入 0 至 5V 变化的电压，利用扫描法测量传输特性
  - (1) 检查实验仪器是否可以正常使用，有无缺失
  - (2) 按照图 14 连接电路，打开示波器，信号源和实验箱开关，调节信号源输出信号为峰峰值为 10V 的正弦波。
  - (3) 输出信号，调节示波器使波形稳定，记录其波形，调节示波器时基模式至 X-Y 模式，记录此时的传输特性曲线。
  - (4) 改变扫描电压频率以及信号源输出频率，观察传输特性曲线有何变化。
  - (5) 测量完毕后，关闭电源并整理实验仪器。

#### (5) 与非门输入电流测量

- 输入 0、0.2V、0.4V 低电平时的输入电流
  - (1) 检查实验仪器是否可以正常使用，有无缺失
  - (2) 按照图 15 连接电路，将 100K 电位器替换为 1M 定值电阻，将 S 处替换为直流稳压源。
  - (3) 打开实验箱以及稳压源开关，限定稳压源的最大输出电流为 1mA，输出电压。
  - (4) 调节稳压源输出电压，使得数字万用表的示数分别为 0V, 0.2V, 0.4V，记录此时稳压源的输出电压以及数字万用表的示数。
  - (5) 关闭输出，将 1M 定值电阻替换为 100K 定制电阻，限定稳压源的最大输出电流为 1mA，输出电压。
  - (6) 调节稳压源输出电压，使得数字万用表的示数分别为 2.4V, 3.6V, 4V, 5V，记录此时稳压源的输出电压以及数字万用表的示数。
  - (7) 测量完毕后，关闭电源并整理实验仪器

#### (6) 与非门输出电流测量

- 输出低电平，不同负载电阻时的输出电平和输出电流
- 输出高电平，不同负载电阻时的输出电平和输出电流
  - (1) 检查实验仪器是否可以正常使用，有无缺失
  - (2) 按照图 16(左图) 连接电路，数字万用表调至电压挡位，测量 3 点与地面之间的电压。
  - (3) 分别将  $R_L$  替换为 100 $\Omega$ , 330 $\Omega$ , 510 $\Omega$ , 1K $\Omega$ , 2K $\Omega$ , 5.1K $\Omega$ , 10K $\Omega$  以及断路，记录此时数字万用表的读数。

- (4) 按照图 16(右图) 连接电路，数字万用表调至电压挡位，测量 3 点与地面之间的电压。
- (5) 再次将  $R_L$  替换为  $100\Omega$ ,  $330\Omega$ ,  $510\Omega$ ,  $1K\Omega$ ,  $2K\Omega$ ,  $5.1K\Omega$ ,  $10K\Omega$  以及断路，记录此时数字万用表的读数。
- (6) 测量完毕后，关闭电源并整理实验仪器。

## 五、 实验数据记录和处理

### (1) 万用表测量三极管

- 判别三极管类型，E/B/C 三极，测量放大倍数  
任意选取三极管一端测量其电阻，测得结果如下：

端口 (黑) \ 端口 (红)	端口 1/V	端口 2/V	端口 3/V
端口 1	—	0L	1.312
端口 2	0.683	—	0.685
端口 3	1.459	0L	—

表 1: 数字万用表测量三极管导通

根据表格，我们可以看到，当红表笔与端口 2 相连时，其与端口 1 和端口 3 均导通，因此可以判定端口 2 为 B 极，且三极管型号为 NPN 型。

将数字万用表调节至 hFE 挡位，将三极管 B 极插入右上角与之对应的测量端口，将三极管分别正反方向插入其中，并读出数字万用表示数测得数据如下：

连接方式	正接	反接
放大倍数	228	8

表 2: 三极管放大倍数测量

- 测量  $V_{CE} = 0V; 1V; 5V$  条件下的输入特性  
按照要求连接电路，分别调节  $V_{CE}$  的电压为  $0V$ 、 $1V$ 、 $5V$ ，并逐点测量其电流与电压的值，记录数据如下：

$V_{CE} = 0V$		$V_{CE} = 1V$		$V_{CE} = 5V$	
U/V	I/ $\mu A$	U/V	I/ $\mu A$	U/V	I/ $\mu A$
0.443	0.27	0.542	0.28	0.515	0.12
0.469	0.62	0.557	0.63	0.567	0.63
0.484	1.02	0.581	1.04	0.581	1.04
0.495	1.45	0.59	1.47	0.59	1.47
0.502	1.89	0.598	1.91	0.597	1.91
0.508	2.34	0.604	2.36	0.603	2.36
0.514	2.79	0.609	2.81	0.607	2.82
0.53	5.10	0.624	4.65	0.62	4.67
0.539	6.96	0.631	6.53	0.629	6.54
0.546	8.83	0.64	8.86	0.637	8.88
0.57	21.12	0.663	20.68	0.66	20.71

表 3: 逐点测量数据

根据所记录数据，我们可以绘制出三极管在不同电压情况下的伏安特性曲线，如下图所示：

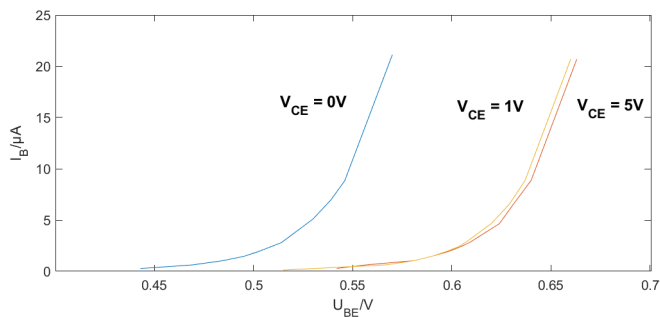


图 17: 三极管输入伏安特性

- 测量  $I_B = 2.5\mu A; 5\mu A; 7.5\mu A; 10\mu A$  条件下输出特性

按照要求连接电路，分别调节  $I_B$  的电流至  $2.5\mu A; 5\mu A; 7.5\mu A; 10\mu A$ ，并逐点测量其电流与电压的值，记录数据如下：

$I_B = 2.5\mu A$		$I_B = 5\mu A$		$I_B = 7.5\mu A$		$I_B = 10\mu A$	
Ic(mA)	Vce(v)	Ic(mA)	Vce(v)	Ic(mA)	Vce(v)	Ic(mA)	Vce(v)
0.199	0.08	0.218	0.060	0.311	0.059	0.489	0.064
0.278	0.094	0.300	0.070	0.395	0.066	0.925	0.086
0.356	0.109	0.468	0.086	0.567	0.078	1.189	0.097
0.505	0.146	0.553	0.094	0.827	0.094	1.539	0.114
0.559	0.188	0.721	0.109	1.000	0.104	1.886	0.134
0.575	0.27	1.168	0.321	1.344	0.128	2.218	0.171
0.577	0.369	1.172	0.518	1.668	0.173	2.361	0.415
0.58	0.868	1.179	1.113	1.763	0.37	2.395	1.382
0.583	1.369	1.184	1.511	1.771	0.562	2.411	2.37

表 4: 逐点测量数据

根据所记录数据，我们可以绘制出三极管在不同电压情况下的伏安特性曲线，如下图所示：

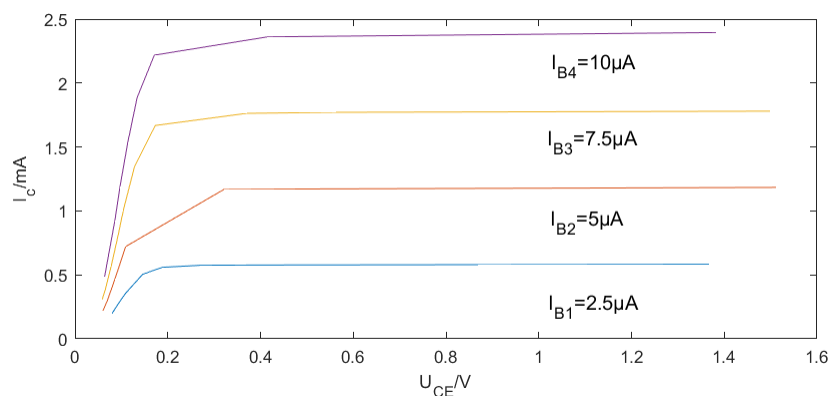


图 18: 三极管输出伏安特性

## (2) 用 MULTISIM 仿真分析三极管特性

- 测量  $V_{CE}=0V;1V;5V$  条件下的输入特性

分别调节  $V_{CE}$  的电压为 0V、1V、5V，调节键 A 并记录数据，测得数据如下：

$V_{CE} = 0V$				$V_{CE} = 1V$				$V_{CE} = 5V$			
U/mv	I/ $\mu A$	U/mv	I/ $\mu A$	U/mv	I/ $\mu A$	U/mv	I/ $\mu A$	U/mv	I/ $\mu A$	U/mv	I/ $\mu A$
0.0012	0	575	41.3	0.0012	0	657	52.1	0	0	657	52.1
120	0	578	47.1	419	0	660	58	419	0	660	58
240	0	582	52.9	517	0.213	662	63.8	517	0.231	662	63.8
358	0	584	58.7	541	0.588	665	69.8	541	0.588	665	69.8
408	0.116	587	64.6	600	5.94	667	75.7	600	5.94	667	75.7
442	0.375	589	70.5	618	11.7	669	81.8	618	11.7	669	81.8
463	0.768	592	76.5	628	17.4	671	87.9	628	17.4	671	87.9
476	1.23	594	82.5	636	23.2	673	94.1	636	23.2	673	94.1
524	6.7	596	88.6	641	29	675	100	641	29	675	100
541	12.4	598	94.8	646	34.7	676	107	646	34.7	676	107
552	18.2	599	101	650	40.5	678	113	650	40.5	678	113
560	24	601	107	654	46.3			654	46.3		
566	29.7	603	114								
571	35.5										

表 5: MULTISIM 测量输入特性 ( $V_{CE}$  固定)

根据所记录数据，我们可以绘制出三极管在不同电压情况下的输入特性曲线，如下图所示：

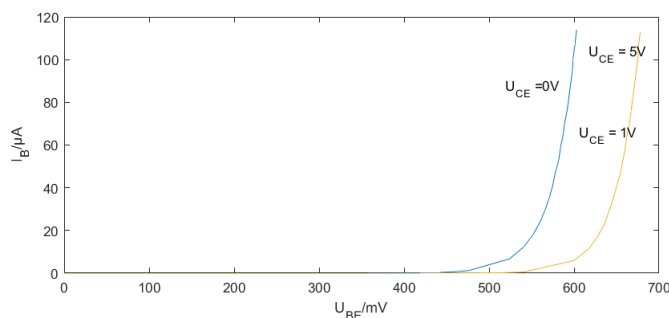
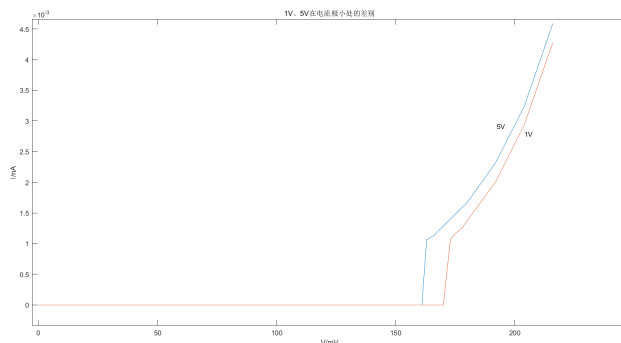


图 19: 三极管输入伏安特性

在本次测量值之中，我们测量了三组数据，分别是  $U_{CE} = 0V$ ， $U_{CE} = 1V$ ， $U_{CE} = 5V$ ，但在图中只显示了两条曲线，原因在于  $U_{CE} = 1V$  的曲线与  $U_{CE} = 5V$  的曲线相重合，因此只能观察到两条曲线，因此我们将  $U_{CE} = 1V$  的数据与  $U_{CE} = 5V$  的数据进行比较，并进行更加详细的测量，发现二者的电流与电压在电流极小时 ( $I < 0.157nA$ ) 时，有着一些区别，我们将图像画出，获得如下图所示的图像：

图 20:  $U_{CE} = 1V$  与  $U_{CE} = 5V$  在极小电流处的区别

其中，上方曲线为  $U_{CE} = 5V$  的曲线，而下方曲线为  $U_{CE} = 1V$  的曲线，由于篇幅原因，具体数据便不在此列出了。

- 测量  $I_B = 2.5\mu A; 5\mu A; 7.5\mu A; 10\mu A$  条件下输出特性曲线：

$2.5I_B = \mu A$				$5I_B = \mu A$				$7.5I_B = \mu A$				$10I_B = \mu A$			
U/mv	I/ $\mu A$	U/mv	I/ $\mu A$	U/mv	I/ $\mu A$	U/mv	I/ $\mu A$	U/mv	I/ $\mu A$	U/mv	I/ $\mu A$	U/mv	I/ $\mu A$	U/mv	I/ $\mu A$
1.62	-1.62			2.32	-2.32	106	428	2.68	-2.68	109	675	2.89	-2.89	94.8	764
9.12	2.88	118	236	12.4	11.6	110	446	13.9	22.1	114	703	14.63	33.2	98.5	802
15.9	8.07	126	250	20.8	27.1	114	464	22.7	49	119	731	23.6	71.8	102	841
22.1	13.9	135	264	27.8	43.9	118	482	30.7	77.3	124	758	31	112	106	879
27.7	20.2	146	276	34	61.5	123	499	36.2	107	130	784	37.2	152	111	917
37.5	34.3	159	286	39.4	79.8	129	516	41.6	136	137	809	42.6	194	115	954
46	49.6	175	294	44.4	98.5	135	532	46.6	166	144	833	47.5	235	120	991
53.6	65.8	193	299	48.9	117	141	548	51.1	197	154	856	52	277	126	1030
60.4	82.6	213	303	53.1	137	149	562	55.3	227	166	876	56.1	318	132	1060
66.9	99.8	234	304	57.1	156	159	575	59.2	258	181	893	60	359	140	1100
73	117	257	305	60.8	176	170	586	63	289	201	906	63.8	401	148	1130
78.9	135	292	306	64.4	195	183	596	66.6	319	227	913	67.4	442	160	1160
84.8	152	807	307	67.9	215	198	602	70.1	350	257	917	70.9	483	175	1180
90.8	170	1690	308	71.3	235	217	607	73.5	380	289	918	74.3	524	196	1210
96.9	187	2280	309	74.6	254	237	610	76.9	411	323	919	77.7	564	226	1220
103	204	2990	310	77.9	274	258	611	80.3	441	491	920	81	605	352	1230
110	220	3700	311	81.2	294	280	612	83.6	471	738	921	84.4	645	2150	1240
				84.5	313	371	613	87	501	966	922	87.8	685	4060	1250
				87.8	333	739	614	90.4	530	1200	923	91.3	724		
				91.2	352	1110	615	93.9	560	1480	924				
				94.6	371	1550	616	97.6	589	1750	925				
				98.1	390	1850	617	101	618	1960	926				
				102	409			105	647						

表 6: MULTISIM 测量输入特性 ( $I_B$  固定)



根据此数据，可以画出三极管在不同电流情况下的输出特性曲线，如下图所示：

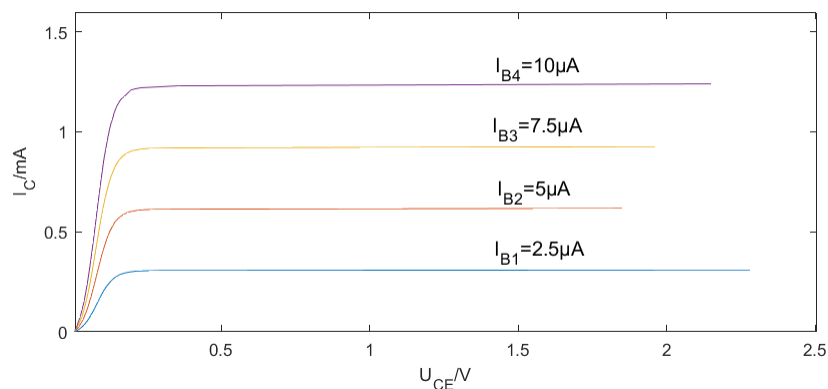
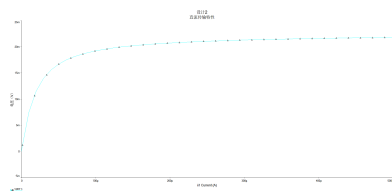


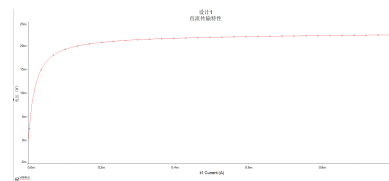
图 21: 三极管输出伏安特性

- 扫描法测量特性曲线

按照实验步骤进行实验，并进行仿真，测得输入特性曲线和输出特性曲线如下图所示：



(a) 输入特性



(b) 输出特性

图 22: 三极管传输特性曲线

### (3) 测量与非门的逻辑功能

按照要求连接电路，改变数据开关数值，记录 LED 灯显示数值，得出其真值表，如下图所示：

输入		输出
A	B	C
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0

表 7: 真值表

给定与非门输入高低电平组合，测量不同组合下的输入输出电压，并记录数据：

输入		输出
$V_A$	$V_B$	$V_C$
-0.007	-0.007	5.024
5.042	-0.007	5.024
-0.007	5.042	5.024
5.043	5.043	0

表 8: 真值表

## (4) 与非门传输特性测量

- 逐点输入直流电压，测量其传输特性

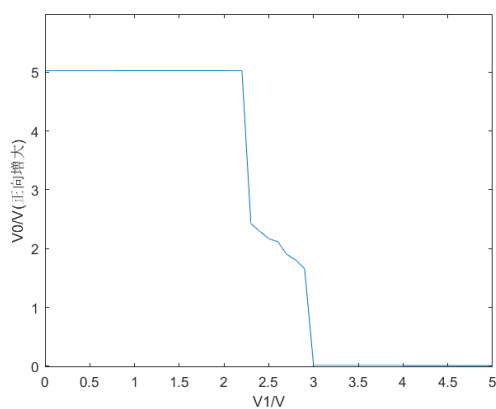
按照实验步骤连接电路图并进行操作，测得实验数据如下图所示：

$V_1$ 电压	0	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2
$V_0$ 电压（正向）	5.027	5.028	5.028	5.026	5.026	5.026	5.026	5.026
$V_0$ 电压（逆向）	5.038	5.038	5.038	5.037	5.037	5.037	5.036	5.037
$V_1$ 电压	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
$V_0$ 电压（正向）	5.026	5.026	5.026	5.025	5.025	5.025	5.025	5.025
$V_0$ 电压（逆向）	5.037	无法测得	3.556	3.574	3.404	3.283	3.131	2.938
$V_1$ 电压	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	
$V_0$ 电压（正向）	5.024	5.023	2.425	2.294	2.17	2.12	1.904	
$V_0$ 电压（逆向）	2.698	2.547	2.413	2.267	0.019	0.019	0.018	

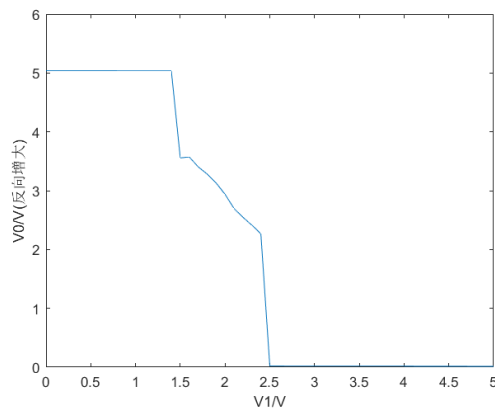
表 9: 与非门传输特性

由于在“逆向”时，1.4V 时电压变化极快且极不稳定，因此并不能测得准确数据，我们猜测 1.4V 可能为一个“断点”

根据实验数据，绘制正向增大以及反向增大的电压如下图所示：



(a) 正向增大



(b) 反向增大

图 23: 门电路传输特性曲线

- 输入 0 至 5V 变化的电压，利用扫描法测量传输特性

按照要求连接电路图，将时基模式调节至 X-Y 挡位，测得门电路的特性曲线如下图所示：

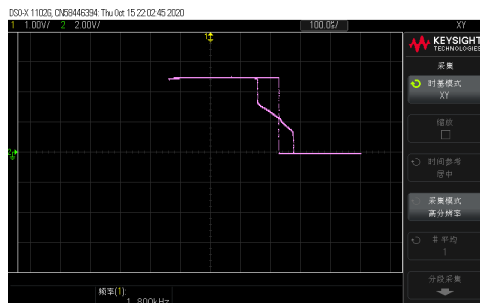


图 24: 测量门电路输出特性电路图

调节频率以及扫描电压，再次观察波形 (图片位于心得与体会)

#### (5) 与非门输入电流测量

- 输入 0、0.2V、0.4V 低电平时的输入电流
- 输入 2.4V、3.6V、4V、5V 高电平时的输入电流

按照要求连接电路，调节后我们发现，接地 (低电平) 时，采用  $1\text{M}\Omega$  的电阻最为合适，而在电平位于 5V 时 (高电平) 时，采用  $100\text{K}\Omega$  的电阻最为合适。

将组装完毕电路后，调节直流稳压源，使得数字万用表的示数分别位于题中所要求的电压，读出数字万用表以及直流稳压源的示数，并计算出电流的数值，在低电平的时候，测得数据如下所示：

V1/mv	1.3	200.2	399.7
V0/V	5.044	5.045	5.045
电源输出/V	0	0.218	0.437
I/ $\mu\text{A}$	$1.3 \times 10^{-3}$	$1.78 \times 10^{-2}$	$3.73 \times 10^{-8}$

表 10: 低电平实验数据

将  $1\text{M}\Omega$  的定制电阻替换为  $100\text{K}\Omega$  的定制电阻，在高电平的时候，测得数据如下所示：

V1/V	2.4	2.4	3.6	4.003	5
V0/V	5	0	0	0	
电源输出/V	2.557	2.386	3.577	3.977	4.968
I/ $\mu\text{A}$	1.57	-0.14	-0.23	-0.26	-0.32

之所以在 2.4V 有两个数据是因为我们发现 2.4V 是一个“断点”，输出电压的变化极大，电压从 0 上升 2.4V 为一个数值，而电压从 5V 下降到 2.4V 时为另一个数值。

#### (6) 与非门输出电流测量

- 输出低电平，不同负载电阻时的输出电平和输出电流
- 输出高电平，不同负载电阻时的输出电平和输出电流

按照要求连接电路，并进行实验，测得在高电平 (5V) 和低电平 (0V) 时的电流电压如下：

高电平 (5V)	R/ $\Omega$	100	330	510	1K	2K	5.1K	10K	$\infty$
	U/v	3.28	4.442	4.652	4.839	4.94	5.001	5.021	5.042
	I/mA	17.2	1.69	0.68	0.16	0.03	-0.0002	-0.0021	0
低电平 (0V)	R/ $\Omega$	100	330	510	1K	2K	5.1K	10K	$\infty$
	U/mv	2.0	2.5	2.6	2.7	2.9	1.5	2.9	3.0
	I/ $\mu A$	20	7.58	5.1	2.7	1.45	0.294	0.290	0

表 11: 与非门输出电流测量

## 六、 数据分析

### (1) 万用表测量三极管

- 由表 1，我们可以得出，端口 2 为 B 端口；根据表 2，由于正接时，放大倍数为 228，而反接时放大倍数仅仅为 8，因此我们可以得出，正接时所对应的端口为正确的。
- 将图 117 的曲线与图 5 进行比较，发现图像大致相同，即可验证对输入曲线的测量大致正确
- 将图 18 的曲线与图 7 进行比较，发现图像大致相同，即可验证对输出曲线的测量大致正确

### (2) 用 MULTISIM 仿真分析三极管特性

- 将的图像与图 5 进行比较，发现图像大致相同，即可验证对输入曲线的测量大致正确
- 将的图像与图 7 进行比较，发现图像大致相同，即可验证对输出曲线的测量大致正确。。
- 观察测得图像以及输入、输出的特性曲线，可以验证实验正确 (要注意输出特性曲线为安伏特性曲线，与正常特性曲线相反)
- 同时，由于  $V_{CE} = 1V$  与  $V_{CE} = 5V$  的曲线大致重合，我们选取其在一开头极小的部分进行观测，发现二者在电流小于  $0.157\mu A$  时，存在着一定的区别，且 5V 的曲线较高，与输入特性曲线大致相同，但同时，由于此部分数据过小，测量多个数值并不是很方便，因此曲线显得并不是十分光滑，但整体上与输入特性曲线所描绘的现象一致。

### (3) 测量与非门的逻辑功能

- 测得真值表后，与正常与非门的真值表进行比对，发现大致相同，可以验证实验争取。
- 由表 8，我们可以得到，所有低电平的电压均小于 0V，而所有高电平的电压均略大于 5V，而 TTL 与非门的电平标准为，高电平应该为与 2.4V-5V 之间，而低电平应在 0V-0.4V 之间，因此，我们认定此与非门可能存在一定的问题。

### (4) 与非门传输特性测量

- 观察图 22，以及图 23，我们发现，与非门电路的电压正向逐渐增大测得的电流和电压正向逐渐减小测得的电流有很大出入，因此我们猜测与非门存在“阻滞”效应，类似于滑动摩擦力与静摩擦力的关系，到达某一点的方式可能影响着这一点的数值。
- 观察示波器在 X-Y 时基模式下测得的图像，可以发现这个图像有两条曲线。因此我们猜测这两条曲线分别为电压增大以及电压减小时测得的数据，与上一条互相验证。

#### (5) 与非门输入电流测量

- 在进行第二个实验的过程中，我们发现，2.4V 是一个极其不稳定的点，稍微改变其电压，V0 就有可能有着巨大的变化，同时，电压从 0V 上升到 2.4V 测得的 V0 数值与电压从 5V 降至 2.4V 测得的 V0 数值并不相同，与上一个实验相照应。

#### (6) 与非门输出电流测量

- 在输入分别为高电平与低电平时，其电压，电流有着较大的区别，与正常规律相符合。

## 七、 思考题

### (1) 三极管有几种类型？三极管的工作状态有哪些？

三极管有 NPN 型和 PNP 型，工作状态有截止（发射结反偏，集电结反偏）、倒置（发射结反偏，集电结正偏）、放大（发射结正偏，集电结反偏）、饱和（发射结正偏，集电结正偏）。

### (2) 当三极管工作在放大状态， $I_C$ 主要由哪个参数决定？

$I_C$  主要取决于共发射极接法电流放大系数，也称直流  $\beta$ 。

### (3) TTL 门电路的电平标准是什么？

0—0.4V 为低电平；2.4—5V 为高电平

### (4) 74LS00 输入低电平时输入电流大概是多少？输入高电平输入电流又是多少？

输入低电平（0V,0.2V,0.4V）的输入电流大约是数十纳安，输入高电平（2.4V,3.6V,4V,5V）的输入电流大约是数百纳安。

### (5) 74LS00 门电路当输出高电平时，若负载电阻变小（电流变大）输出电平将如何变化？

若负载减小，输出电平也将减小。且当负载较小时，负载大小的变化能对输出电平产生更大的影响。

### (6) 74LS00 门电路当输出低电平时，若负载电阻变小（电流变大）输出电平将如何变化？

若负载减小，输出电平也将减小。且当负载较小时，负载大小的变化能对输出电平产生更大的影响。

## 八、 探究题

三极管的一个主要应用是利用其饱和和截止工作状态，实现用小功率信号控制大功率电气的应用。

(1) 三极管器件影响控制效能的因素主要有哪些？

三极管的截止状态和饱和状态一般在电路影响控制效能的因素中充当电子开关的作用。截止状态对应的是负载的关，而饱和状态对应的负载的开。影响因素有三极管的开启、关闭、储存、上升、下降时间。基流大小（基极偏流过大会降低晶体管的关断速度，增加晶体管的功耗）工作环境温度，所在电子电路频率等。

(2) 实际应用中，通常用 IGBT 替代普通三极管，IGBT 与三极管相比有哪些优势？

开关速度更快；驱动电流小，驱动电路简单；节能、开关损耗小；安装维修方便；散热稳定；高输入阻抗

(3) IGBT 在哪些领域有广泛应用？国际上著名 IGBT 生产厂商有哪些？

**广泛应用：**目前 IGBT 主要应用领域还包括工业控制、消费电子、计算机、网络通信、电动汽车，还广泛应用于智能电网的发电端、输电端、变电端及用电端。IGBT 器件也已成为轨道交通车辆牵引变流器和各种辅助变流器的主流电力电子器件。

**著名厂商：**现阶段，国内 IGBT 市场主要被欧美、日本企业所垄断。由于 IGBT 对于技术要求较高，IGBT 的厂商比较集中，主要包括欧洲厂商 ST、Semikron、EUPEC、美国厂商 IR、Fairchild、IXYS、APT；日本厂商 Fuji、Sanken、Toshiba、Mitsubishi 等

全球前三大厂商分别是英飞凌科技公司（前身是西门子集团的半导体部门，于 1999 年 4 月 1 日在德国慕尼黑正式成立，2000 年上市，2002 年后更名为英飞凌科技公司，在中国市场占据主导地位）、三菱电机（隶属于日本三菱企业集团，总部设在日本东京，创建于 1921 年，是一家具有 90 多年历史的企业）、富士电机有限公司（成立于 1923 年 8 月，部位于日本神奈川县，距今有 90 多年历史，是日本最大的综合机电产品制造企业之一）。

## 九、心得与体会

### 1. 实验心得

(1) 示波器扫描法测量与非门电路传输特性

在使用扫描法测量与非门电路的传输特性这一实验中我们发现，改变信号源的输出频率，与非门的输出特性曲线会有较为明显的变化，如下图所示：

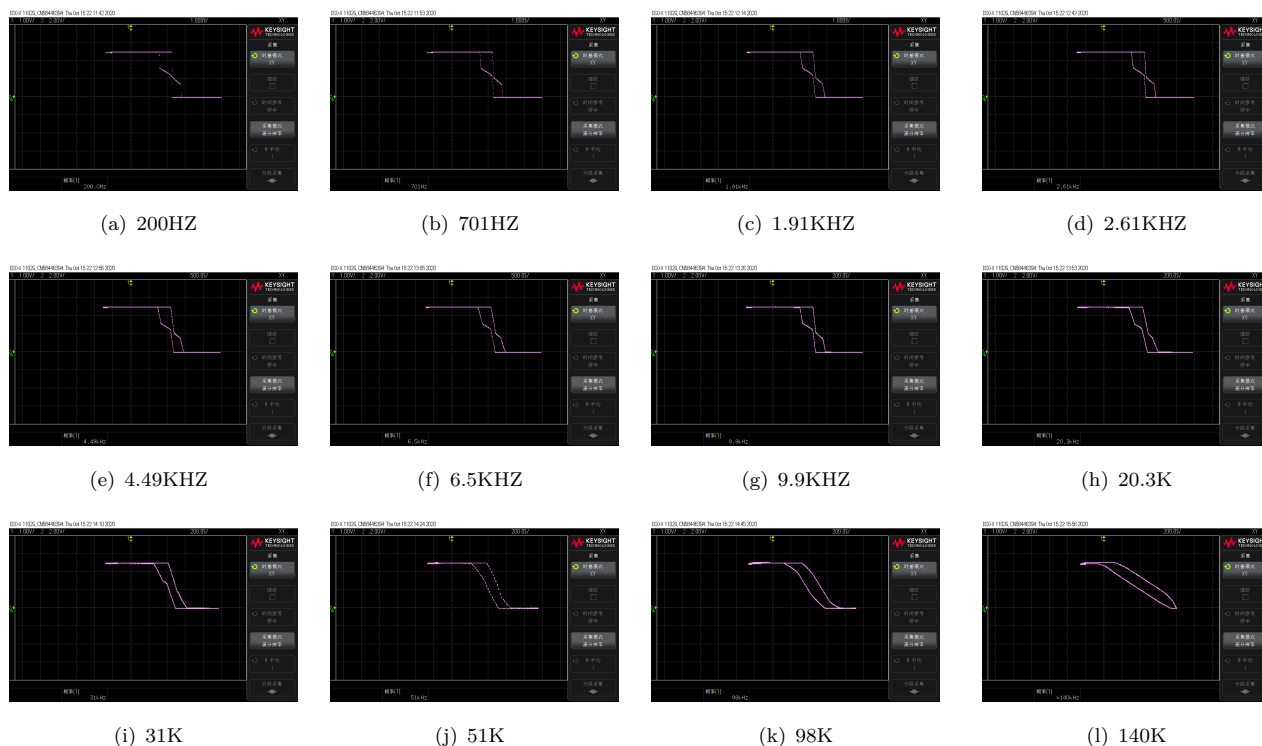


图 25: 实验 (1)

我们商讨后认定，门电路对于电流需要一定的反应时间，当频率较低时，电路中的电流给予门电路足够的反应时间，因此图像较为正常，但当电流的频率增大时，门电路显然并不能及时做出应对，因此图像变得愈发奇怪。

另外，我们发现在逐渐增大扫描电压频率的过程中，也会发现这种情况，但百思不得其解。

- (2) 实验 1 中为了区分集电极和发射极，我们上网搜索了一些方法可以不需要专门的三极管插口，网上说直接测量  $b_c$  和  $b_e$  间的压降，可以区分。于是我们用二极管挡位测出了， $b_e$  的压降为 0.685V， $b_c$  为 0.683V，虽然满足了网上说的  $V_{b_e}$  大于  $V_{b_c}$ ，但区分实在太小，让人不得不去怀疑它的准确性。之后我们又用二极管挡位测量  $e_c$ ， $e_c$  的导通电压， $V_{e_c}$  为 1.459V， $V_{c_e}$  为 1.312V，这两者的差距就显得较大了， $V_{e_c}$  大于  $V_{c_e}$  这个规律也许能够帮助我们在不能使用三极管专用插口的时候判断三极管的发射极和集电极。
- (3) 原本在逐点法测量三极管输入  $V_A$  特性曲线的时候，我们想用电压表直接串联输入端的电压，近似认为电压表示数就是输入电压，但是经过讨论以及老师的指导，我们发现直流稳压源显示出的电压并不就是其两端的电压，因为稳压源内部有内阻，同时考虑到电压表也有内阻，这种方法欠妥当，只能向别人借用万用表进行实验
- (4) 逐点法测量与非门传输特性的实验中，我们发现中间的几个点，当我们从零增加到他所得到的测量结果，和我们从 5V 减小到它所得到的测量结果是由很大的差别的，我们很敏锐的观察到了这一点，经过讨论，我们决定做两次实验，一次是将输入电压从 0V 调到了 5V，一次是将输入电压从 5V 调到 0V，最后做出两个不同的曲线，之后用示波器扫描得出的图像也验证了我们的测量是正确的。

## 2. 实验感想

本次我们主要讲解了三极管以及门电路的相关应用，在本次课程中，我熟练地掌握了三极管的输入特性曲线，输出特性曲线以及门电路在高电平、低电平不同状态时输出的电流与电压，另外，我还掌握了如何使用 MULTISIM 扫描法测量电压以及在 MULTISIM 中三极管以及电键等器件的相关应用，可谓是收获颇多。

本次实验相比于以往的实验来说，实验内容更大，实验任务也更加繁重，但在这次实验中我们也掌握到了响应的知识，可谓是一分耕耘，一分收获。