

# 浙江大学实验报告

专业：电气工程及其自动化

姓名：严旭铨

学号：3220101731

日期：2023 年 10 月 16 日

地点：东 三 406 教室

课程名称：电路与电子技术实验 I 指导老师：祁才君 成绩：

实验名称：仪器使用练习 实验类型：电学实验 同组学生姓名：褚玘铖

## 实验 三极管和门电路特性测试

### 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、实验内容

1. 万用表测量三极管
  - 1) 判别三极管类型，E\B\C 三极，测量放大倍数
  - 2) 测量  $V_{CE}=0; 1V; 5V$  条件下的输入特性
  - 3) 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
  - 1) 测量  $V_{CE}=0; 1V; 5V$  条件下的输入特性
  - 2) 测量  $I_B=2.5\mu A; 5\mu A; 7.5\mu A; 10\mu A$  条件输出特性
3. 测量与非门的逻辑功能
  - 1) 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
  - 1) 逐点输入直流电压，测量其传输特性
  - 2) 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

- 1) 输入 0、0.2V、0.4V 低电平时的输入电流
- 2) 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

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

## 三、实验数据记录、处理与分析

### 内容一：万用表测量三极管

#### ● 判别三极管类型，E\B\C 三极，测量放大倍数

#### 1. 实验器材

求是 MADCL-1 电学实验箱（提供该实验所用电容、电阻等元器件）、优利德 UT890D+ 万用表（该实验的测量设备）

#### 2. 实验步骤

##### ➤ 判别三极管类型（NPN or PNP）

如图所示连接好电路，将万用表档位调至二极管测试档位（注意这里要先按下 Select 按钮）。将红表笔连接到三极管中间的管脚，黑表笔任接其余两管脚的一支，若有示数则说明为 NPN 型三极管；反之，可交换红黑表笔位置，若交换后有示数则为 PNP 型三极管。

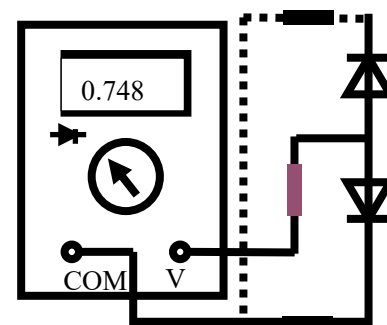


图 1 原理图 1

##### ➤ 判别 E、B、C 三极

- 1) 在上一步的基础上，先找到 B 极：红表笔连接任一管脚，黑表笔分别连接剩下两管脚，直到万用表两次测量示数相近但不相等，此时红表笔连接的就是 B 极。
- 2) 判别 CE：将三极管插入到万用表右上角三个检测孔里（注意和型号对应，PNP 或 NPN 的孔位置不同）。待示数稳定后读数。再将三极管换一面，将 CE 管脚对应插孔互换，重测，较大的数据对应的就是正确的 CE 位置。

➤ 判别三极管是否损坏

在上一步的基础上，若为 NPN 型，红表笔接 B 极，黑表笔分别接 CE 极，读出两个读数。读数相对合理且相差不大则可以简单判断为没有损坏；若为 PNP 型，黑表笔接 B 极，红表笔分别接 CE 极，读出两个读数。读数相对合理且相差不大则可以简单判断为没有损坏。

➤ 简单测量放大倍数  $\beta$

将万用表档位调至 hfe 档，将三极管三个管脚插入右上角相应的孔中，读出示数即为  $\beta$ 。与参考数据对比若比较接近，则  $\beta$  即为所求放大倍数。

3. 实验数据

我们组测得的二极管型号为 9013，为 NPN 型。管脚分布如图所示。三极管工作状态正常，放大倍数  $\beta = 231$ 。

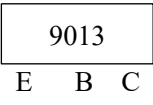


图 2 三极管管脚分布情况

● 逐点法测量  $V_{CE}=0; 5V; 15V$  条件下的输入特性

1. 实验步骤

- 1) 按如图所示原理图连接好电路，V1 和 V2 均由稳压直流电源提供。
- 2) 保持  $V_2=0V$  不变，改变 V1，测量不同 V1 下输入 B 极的电流  $I_b$ 。
- 3) 注意：如果直接用万用表电流档串联进电路，可能万用表内阻过大，对实验测量会造成较大的系统误差。因此，我们采用万用表电压档，测量 BE 两端的电压值  $V_{BE}$  并记录，再计算得到  $I_b$ 。
- 4) 将 V2 调整为 5V 和 15V 重复步骤 (2) (3)。
- 5) 根据所得  $I_b$  和  $V_{BE}$  的值绘制 VA 特性曲线。

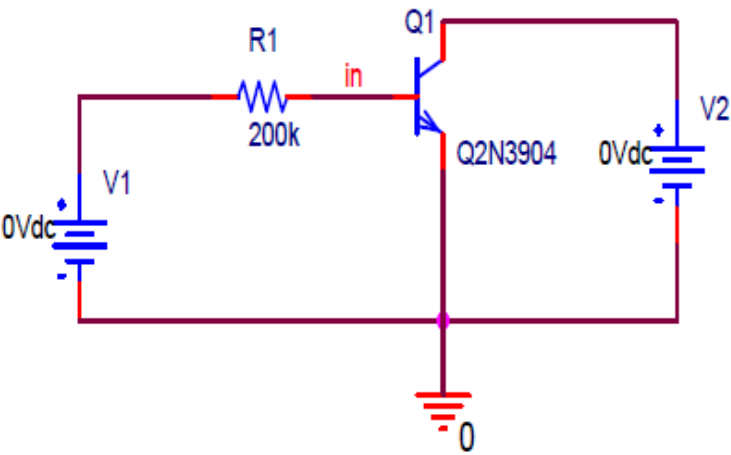


图 3 原理图 2

2. 实验数据

表 1 采用逐点法测量三极管输入 VA 特性

$V_2=0V$		$V_2=5V$		$V_2=15V$	
$V_{BE}/mV$	$I_b/\mu A$	$V_{BE}/mV$	$I_b/\mu A$	$V_{BE}/mV$	$I_b/\mu A$

606	96.97	602.6	81.987	606	96.97
600	72	594.4	62.028	644	21.78
593	57.035	586.3	47.068	639	16.805
584	42.08	575.3	32.123	631	11.845
567	27.165	567.9	24.660	618	6.91
553	17.235	558	17.21	607	4.465
526	7.37	548.6	12.257	586	2.07
518	4.91	534.5	7.3275	568	1.16
505	2.975	523.2	4.884	533	0.335
483	1.585	513.1	3.4345	511	0.195
436	0.32	503.4	2.483	479	0.105
290	0.05	496.8	2.016	438	0.06
95	0.025	487.5	1.5625	390	0.05
		472.8	1.136	194	0.03
		461.8	0.941		
		446.6	0.767		
		427	0.615		
		408.3	0.4585		
		412.2	0.189		
		384.6	0.077		
		47.2	0.014		

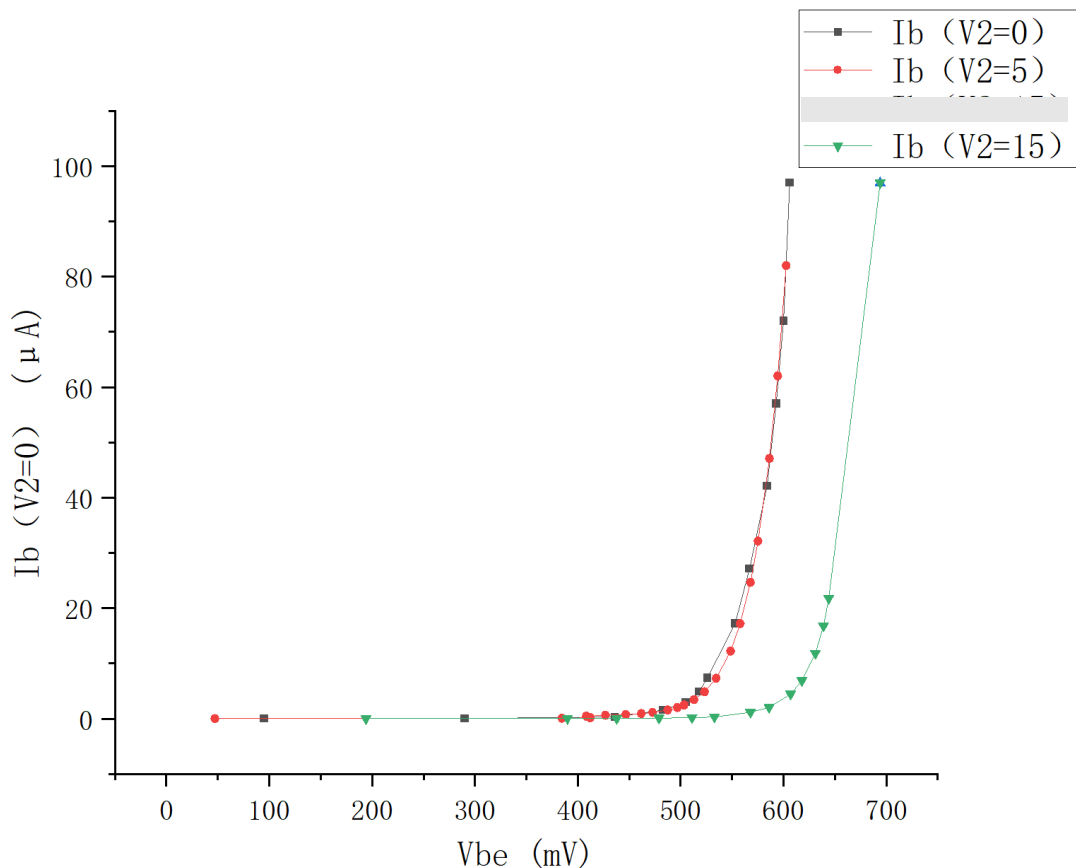


图 4 逐点法测三极管输入 VA 特性曲线

### 3. 数据处理与分析

- 1)  $I_b = (V_1 - V_{BE})/200$  (mA), (表中  $V_1$  已隐去)
- 2)  $V_2 = 0V/5V/15V$  时的 VA 特性曲线如图所示。 $V_2=0V$  和  $5V$  的曲线比较接近, 而  $V_2=15V$  时的曲线与前者有一定距离。可以看到,  $I_b$  随 BE 两端的电压增大而增大, 且斜率在  $V_{BE}$  达到  $550mV$  后增大明显。在此之前则三条曲线基本重合, 说明在  $V_{BE}$  较小时, 对  $I_b$  的影响很弱。

### ● 逐点法测量 $I_B=5\mu A$ ; $10\mu A$ 条件下输出特性

#### 1. 实验步骤

- 1) 按如图所示原理图连接电路。 $V_1$  和  $V_2$  由稳压电源提供。
- 2) 由公式  $I_b = (V_1 - V_{BE})/200k$ , 计算出当  $I_b = 5\mu A$  时  $V_1 - V_{BE} = 1V$ 。继续用万用表测量  $V_{BE}$ , 并调节  $V_1$  输出电压, 当满足  $V_1 - V_{BE} = 1V$  时, 记录  $V_1$  数值。

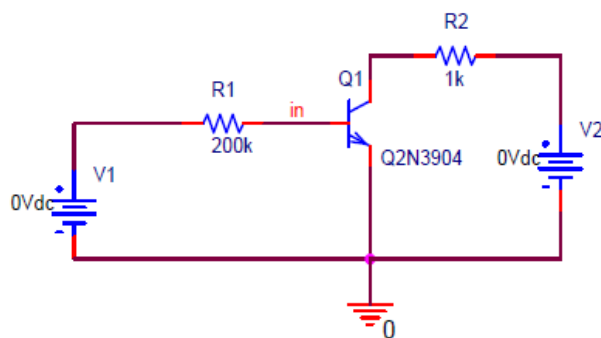


图 5 原理图 3

- 3) 保持  $V_1$  不变，调节  $V_2$ ，用万用表测量多组  $V_{CE}$  值并记录，再由公式  $I_c = V_2 - V_{CE}$  (mA) 计算得到相应的  $I_c$ 。
- 4) 重复步骤 (2) (3)，(2) 中， $I_b = 10\mu A$  时  $V_1 - V_{BE} = 2V$ ，记录此时  $V_2$  数值，在该  $V_2$  下进行步骤 (3)。
- 5) 整理所得数据，由  $I_c$  和  $U_{CE}$  绘制  $V_A$  特性曲线。

## 2. 实验数据

表 2 采用逐点法测量三极管输出  $V_A$  特性

$V_1=1.525V$ $I_b=5\mu A$		$V_1=2.645V$ $I_b=10\mu A$	
$V_{ce}/V$	$I_c/mA$	$V_{ce}/V$	$I_c/mA$
7.970	1.030	5.585	2.415
6.940	1.060	3.589	2.411
5.940	1.060	0.656	2.344
2.940	1.060	0.328	2.372
1.440	1.060	0.197	2.303
0.940	1.060	0.160	2.14
0.450	1.050	0.175	2.225
0.187	1.013	0.150	2.05
0.254	1.046	0.129	1.771
0.157	0.943	0.109	1.391
0.139	0.861	0.091	1.009
0.125	0.775	0.082	0.818
0.114	0.686	0.073	0.627
0.105	0.595	0.061	0.439
0.096	0.504	0.046	0.254
0.087	0.413	0.023	0.077
0.077	0.323		
0.066	0.234		
0.053	0.147		
0.034	0.066		

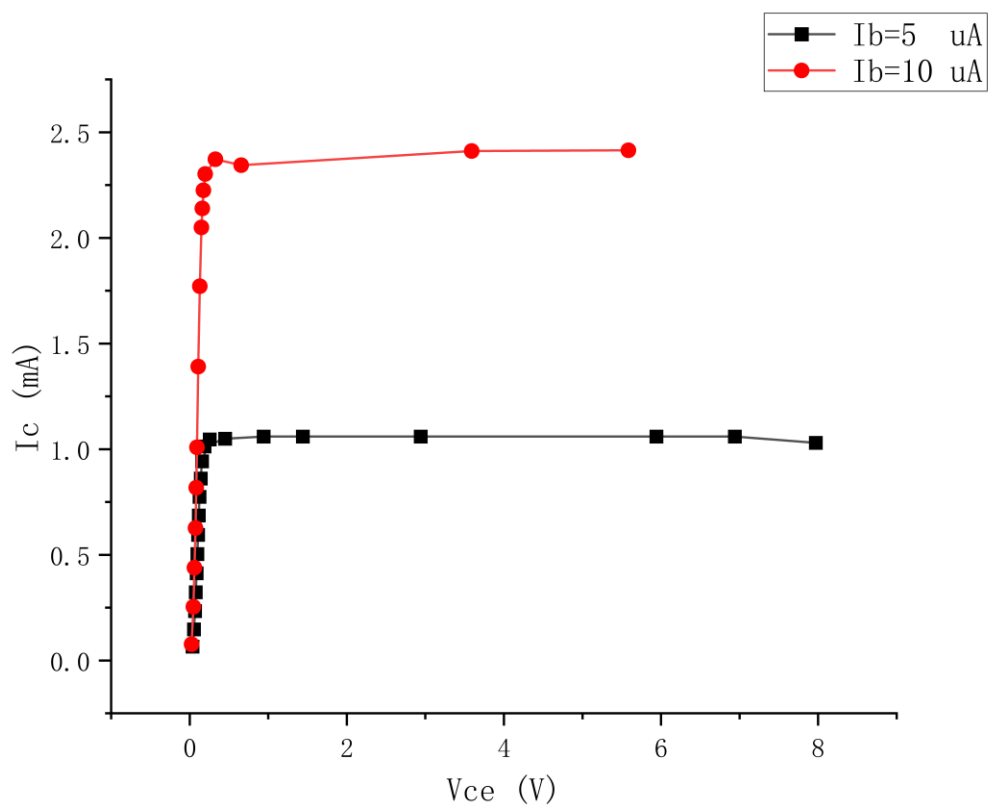


图 6 逐点法测三极管输出 VA 特性曲线

### 3. 数据处理与分析

在  $V_{CE}$  很小时， $V_{CE}$  的变化会显著影响  $I_C$ ，此后对  $I_C$  的影响就变得很小，曲线趋于平缓。当  $I_B$  更大时，相同  $V_{CE}$  情况下输出的  $I_C$  要更大。而且当  $I_B$  变为 2 倍时， $I_C$  也接近变为原来的 2 倍多。符合三极管的理论输出特性。

## 内容二：用 MULTISIM 仿真分析三极管特性

### ● 采用 MULTISIM 逐点仿真三极管输入 VA 特性

#### 1. 实验器材

- 搭载 64 位 Windows11 家庭中文版操作系统的笔记本电脑
- NI Multisim 14.0 软件

#### 2. 实验步骤

- 1) 在 Multisim 中绘制如下原理图：

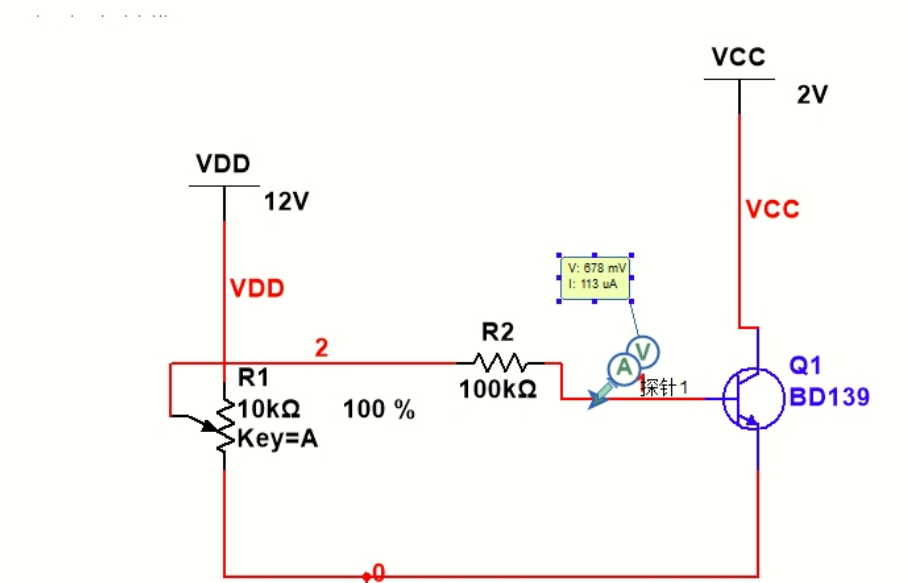


图 7 原理图 4

- 2) 放置电压电流探针，使其只显示电压和电流的有效值（U 和 I）
- 3) 改变电位器键的位置，从而改变输入电压，在过程中记录随之改变的  $V_{be}$  和  $I_b$  的值。分别在  $V_{ce}=0V$  和  $2V$  时进行实验。
- 4) 根据所得数据绘制三极管输入 VA 特性曲线。

### 3. 实验数据

表 3 采用 MULTISIM 逐点仿真三极管输入 VA 特性

$V_{ce}=0V$		$V_{ce}=2V$	
$V_{be}/mV$	$I_b/\mu A$	$V_{be}/mV$	$I_b/\mu A$
603	114	678	113
599	101	675	100
596	88.6	671	87.9
592	76.5	667	75.7
587	64.6	662	63.8
582	52.9	657	52.1
575	41.3	650	40.5
566	29.7	641	29
552	18.2	638	23.2
524	6.7	628	17.4
513	4.44	618	11.7
493	2.25	600	5.94
476	1.23	588	3.69
442	0.375	579	2.59
358	0.0204	566	1.54
5.4	3.33	541	0.588



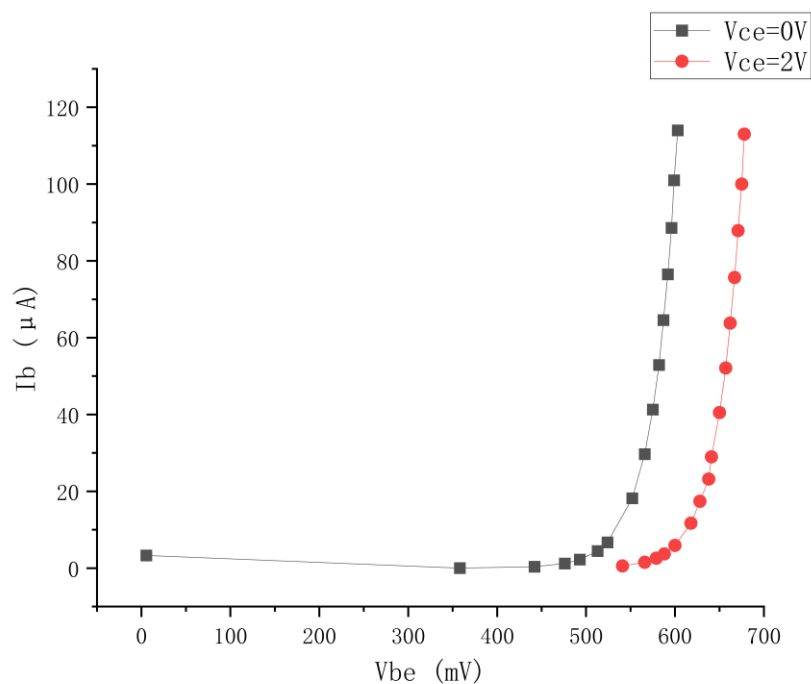


图 8 采用 MULTISIM 逐点仿真三极管输入 VA 特性曲线

#### 4. 数据处理与分析

采用 MULTISIM 逐点仿真得到的三极管输入 VA 特性曲线就与理论值高度符合，可以看到在 Vbe 小于 450mV 时两条线基本重合，在此之后显著分开，当 Vbe 较大时两线就像是平移得到的。

#### ● 采用 MULTISIM 逐点仿真三极管输出 VA 特性

##### 1. 实验步骤

1) 在 Multisim 中绘制如下原理图，使探针只显示 U 和 I:

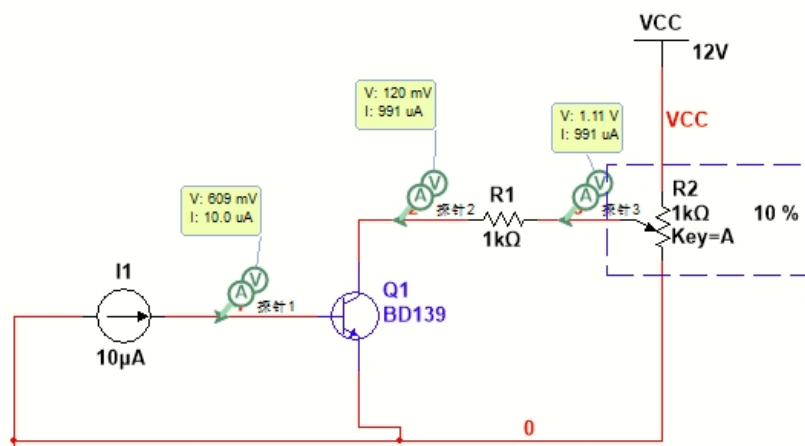


图 9 原理图 5

- 2) 使恒流源输出  $I_b = 2.5\mu A$ ，通过改变电位器键的位置，改变  $V_{ce}$ 。记录探针 2 显示的  $I_c$  和  $V_{ce}$  值。之后将  $I_b$  改为  $5\mu A, 7.5\mu A, 10\mu A$  重复操作。
- 3) 根据所得数据绘制三极管输出 VA 特性曲线。

## 2. 实验数据

表 4 采用 MULTISIM 逐点仿真三极管输出 VA 特性

$I_b=10\mu A$		$I_b=7.5\mu A$		$I_b=5\mu A$		$I_b=2.5\mu A$	
$V_{ce}/V$	$I_b/\mu A$	$V_{ce}/V$	$I_b/\mu A$	$V_{ce}/V$	$I_b/\mu A$	$V_{ce}/V$	$I_b/\mu A$
10.7	1280	11	964	11.4	643	11.7	322
8.13	1270	8.49	953	8.86	636	9.23	318
5.64	1260	6.03	943	6.42	629	6.81	315
4.44	1250	3.64	933	4.03	623	4.41	312
2.11	1240	1.33	923	1.69	616	2.04	308
0.974	1230	0.209	909	0.198	602	0.208	305
0.418	1230	0.154	856	0.141	548	0.175	294
0.308	1220	0.123	775	0.114	464	0.118	236
0.21	1210	0.111	685	0.0946	371	0.0848	152
0.16	1160	0.0976	589	0.0779	274	0.0536	65.8
0.136	1080	0.0859	491	0.0608	176		
0.12	991	0.0746	390	0.0394	79.8		
0.108	898	0.063	289				
0.0985	802	0.0496	187				
0.0895	705	0.0321	87				
0.081	605						
0.0726	504						
0.0638	401						
0.0541	297						
0.0426	194						
0.0275	91.6						

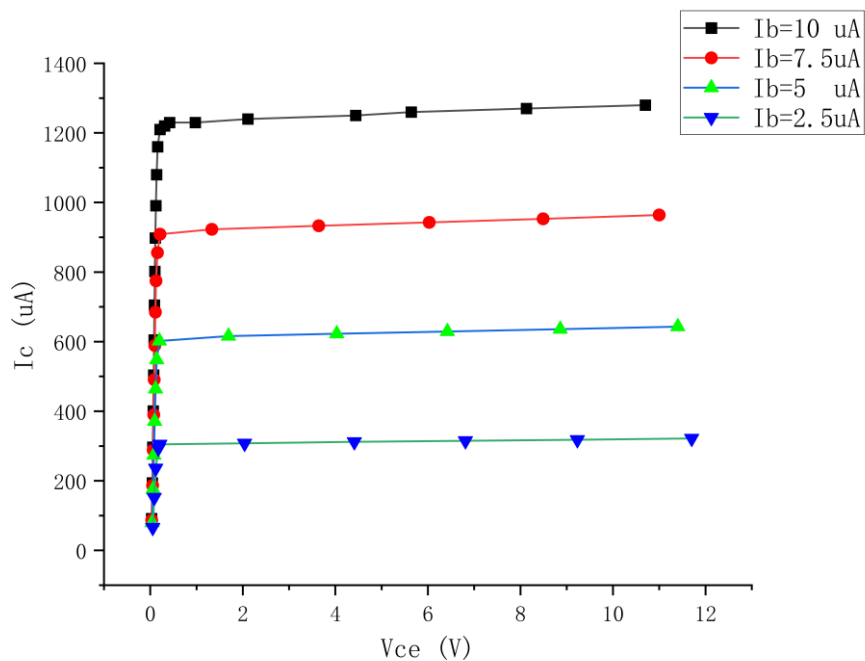


图 10 采用 MULTISIM 逐点仿真三极管输出 VA 特性曲线

### 3. 数据处理与分析

采用 MULTISIM 逐点仿真得到的三极管输入 VA 特性曲线就与理论值高度符合，并且可以发现， $I_c/I_b$  的值大概在 100~120 之间，即该型号三极管的放大倍数大约在 100~120 之间。

### ● 采用 MULTISIM 扫描功能仿真三极管输入 VA 特性

#### 1. 实验步骤

1) 在 Multisim 中绘制如下原理图：

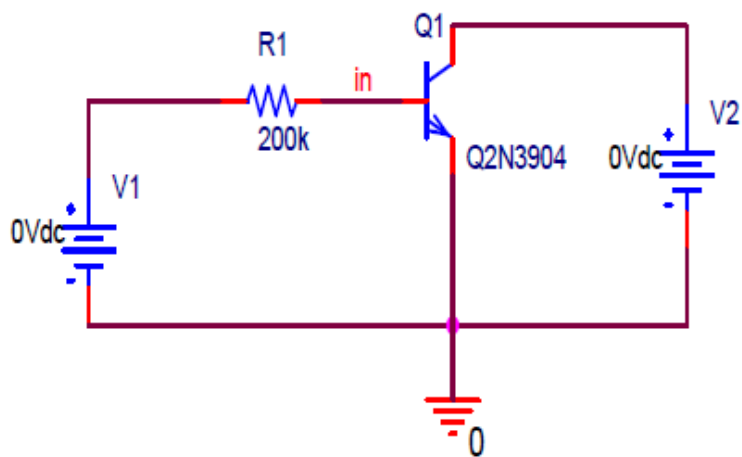


图 11 原理图 6



图 13 输入扫描参数

- 2) 菜单栏选 仿真 – Analyses and simulation – 左边栏选择直流扫描 – 按如图输入参数 – Run。  
此时会发现得到的图像是反的，I 为负值。
- 3) 再按 2) 中路径，在 直流扫描 – 输出 – 编辑表达式为  $-I(V1)^1$  - Run。即可得到结果。

## 2. 实验数据

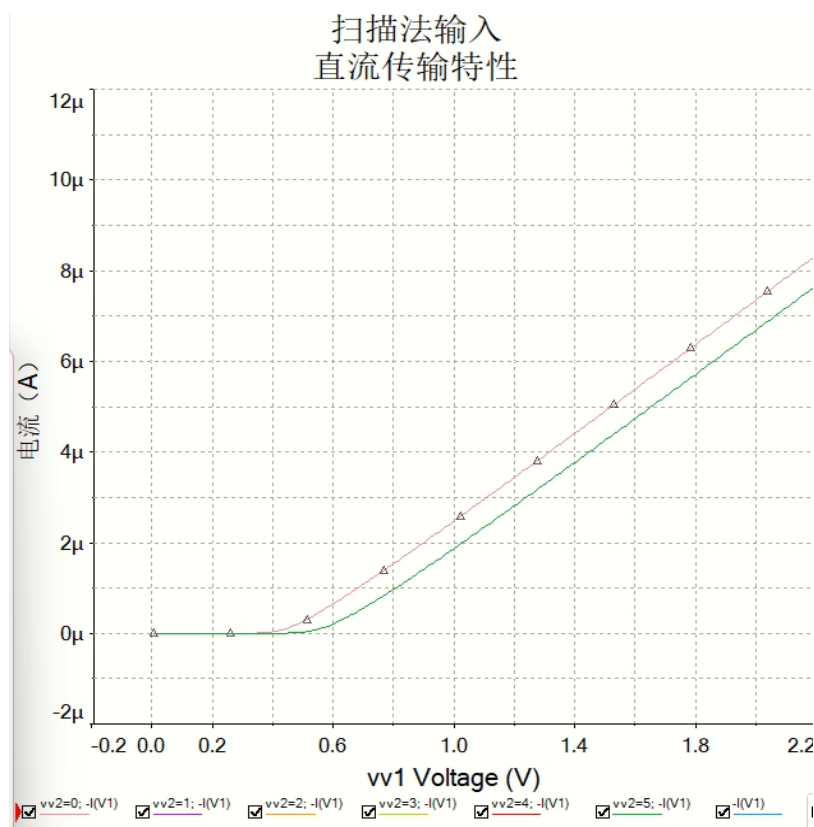


图 14 采用 MULTISIM 扫描功能仿真三极管输入 VA 特性曲线

也可以导出 csv 文件后利用 Origin/Matlab 软件再进行画图

## 3. 数据处理与分析

<sup>1</sup> 在《电路实验教程（第3版）》第153页有对此设置的说明：“在 Multisim 中，流经电压源的电流方向默认为从电压源的正极流向负极，而我们希望观测的是三极管集电极电流  $I_c$ ，由集电极流向发射极，因此选择  $I(V_{cc})$  的反向，这可以通过输出变量表达式进行设置。”

用扫描法作出的图线和逐点法相比，看上去线的斜率没有那么大，我猜想这是坐标轴比例尺的原因。这里一共设置了 6 个输入电压值，但看上去只有两条图线，是因为除了 0V 以外，其他 5 个电压下的图线几乎挨在一起，距离很近。观察图 15 局部放大图可以看到，这六条图线还是有区别的，基本上相互平行，输入电压越大图线越靠右。

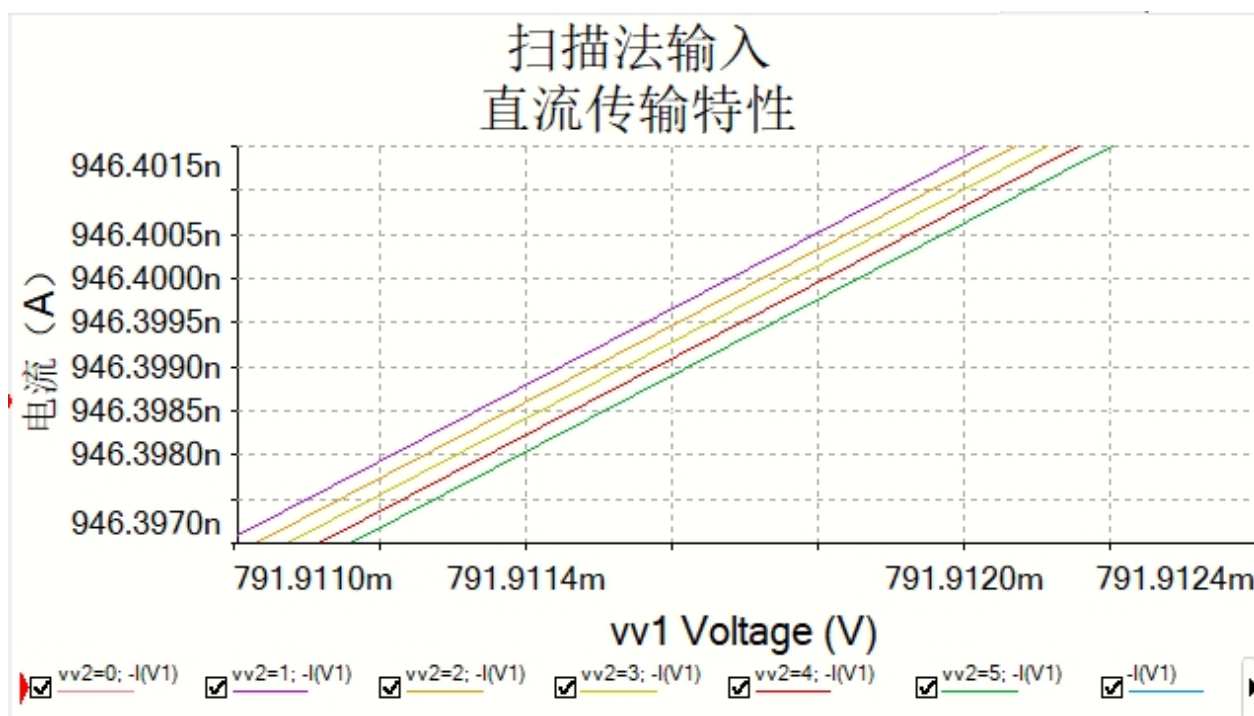


图 15 采用 MULTISIM 扫描得到的 VA 特性曲线局部放大图

## ● 采用 MULTISIM 扫描功能仿真三极管输出 VA 特性

### 1. 实验步骤

1) 在 Multisim 中绘制如下原理图：

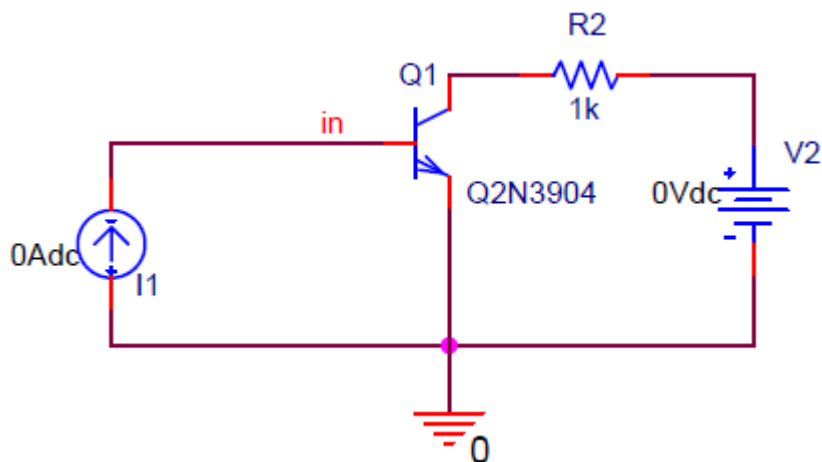


图 16 原理图 7

- 2) 菜单栏选 仿真 - Analyses and simulation - 左边栏选择直流扫描 - 按如图输入参数  
- 点选 输出 标签 - 编辑表达式为  $-I(V2)$  - Run。得到图线

分析参数		输出	分析选项	求和
<b>源1</b>				
源:	V2	<input type="button" value="更改滤波器"/>		
起始值:	0	V		
停止值:	5	V		
增量:	0.01	V		
<input checked="" type="checkbox"/> 使用源2				
<b>源2</b>				
源:	I1	<input type="button" value="更改滤波器"/>		
起始值:	0	A		
停止值:	1e-005	A		
增量:	2.5e-006	A		

图 17 分析参数

## 2. 实验数据

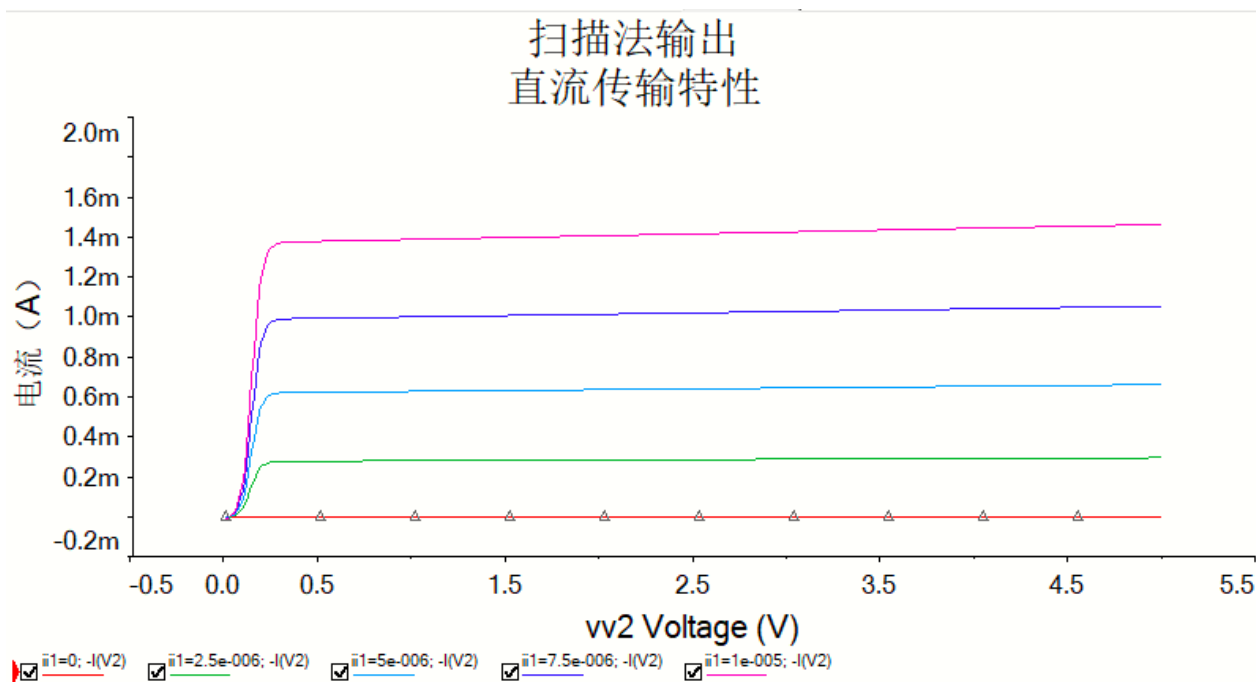


图 18 采用 MULTISIM 扫描功能仿真三极管输出 VA 特性图线

## 3. 数据处理与分析

该图线与逐点法得到的图线以及理论值都很好地符合，说明仿真未出现错误。

内容三：测量与非门的逻辑功能

1. 实验器材

求 是 MADCL-1 电学实验箱（提供该实验所用电容、电阻等元器件）、优利德 UT890D+万用表（该实验的测量设备）、GWINSTEK GPD4303S 稳压源、SN74HC00N 与非门

2. 实验步骤

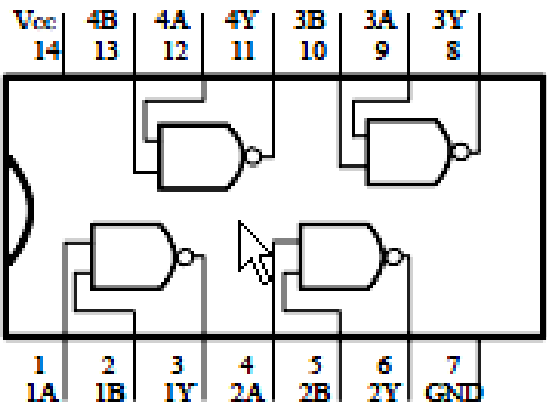


图 19 与非门结构图

- 1) 将与非门插入到实验箱面板中，注意 14 个管脚都要对齐。用导线分别连接实验箱上的 5V 直流电源 –14 号孔，5V 直流电源的地线孔 –7 号孔，5V 直流信号源孔 –1 号孔，另一 5V 直流信号源孔 –2 号孔，3 号孔 – 地线孔。
- 2) 改变与非门 4 和 5 的输入电压，用万用表电压档测 6 号的输出电压并记录。

3. 实验数据

表 5 74LS00 与非门输入输出电平值及其对应真值表

电平值			LED 亮灭	对应真值表		
输入		输出		输入		输出
Va/V	Vb/V	Vy/V		A/V	B/V	Y/V
5.041	0	4.905	亮	1	0	1
0	5.041	4.905	亮	0	1	1
0	0	4.095	亮	0	0	1
5.041	5.041	0	灭	1	1	0

4. 数据处理与分析

通过输入对应电平标准的电压可以得到相应输出电压，最后可以模拟得到真值表，且该表与理论真值表完全符合。

内容四：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. 实验步骤

1) 如图所示连接电路，注意整个电路要共地：

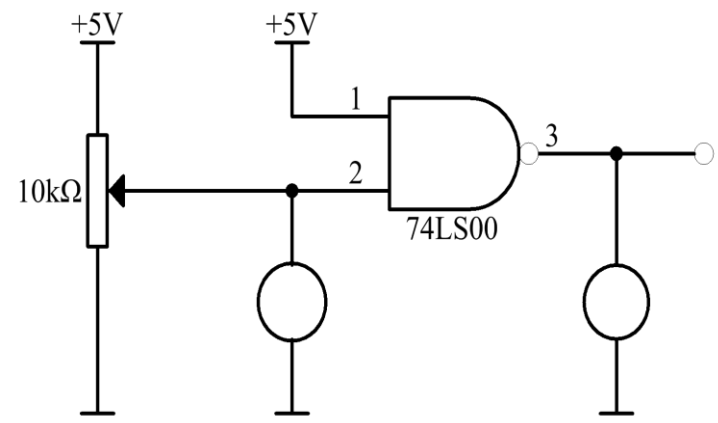


图 20 原理图 8

2) 调节电位器，使 2 的输入电压在 0~5V 间变化。1 与实验箱上 5V 直流电源连接。用万用表测量并记录相应的输入电压  $V_I$  和输出电压  $V_O$ ，并画出电压传输特性。

2. 实验数据

表 6 逐点法测量 74LS00 与非门的电压传输特性

$V_I/V$	$V_O/V$
0	4.511
0.6	4.513
0.7	4.515
0.8	4.505
0.9	4.501
1	4.495
1.1	4.486
1.2	4.477
1.3	4.471
2	0.109
3	0
5	0



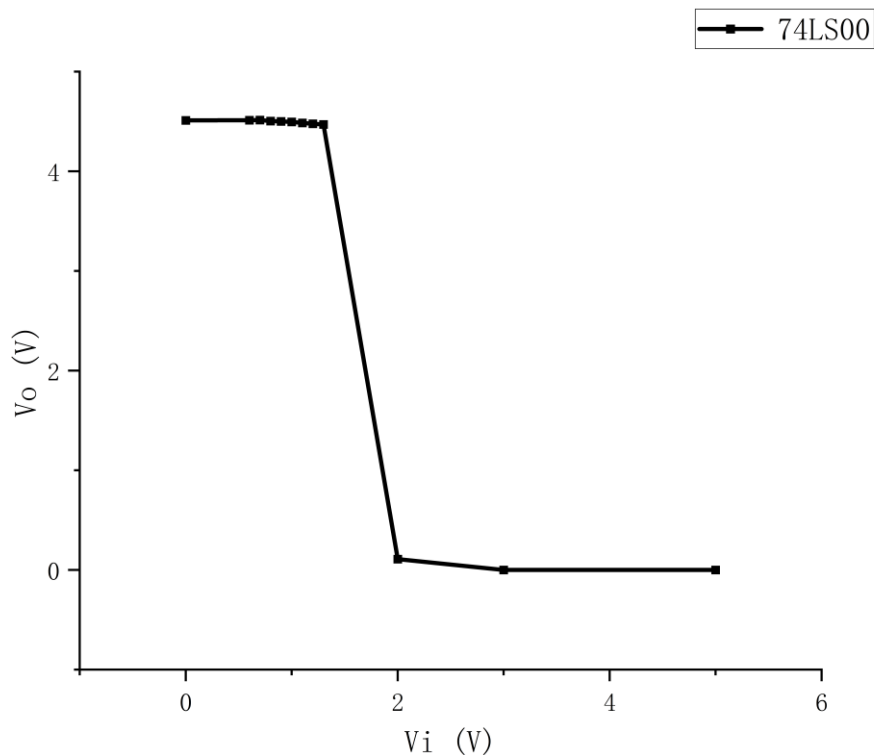


图 21 逐点法测量 74LS00 与非门的电压传输特性图

### 3. 数据处理与分析

实验中固定 1 号孔输入高电平, 2 号孔输入电平在变化。可以发现该与非门的低电平范围约在 0~1.2V, 高电平范围约在 2~5V。中间没有缓冲区, 体现了该与非门 CMOS 器件的特性。

## ● 输入 0 至 5V 变化的电压, 利用扫描法测量传输特性

### 1. 实验步骤

1) 如原理图所示连接电路:

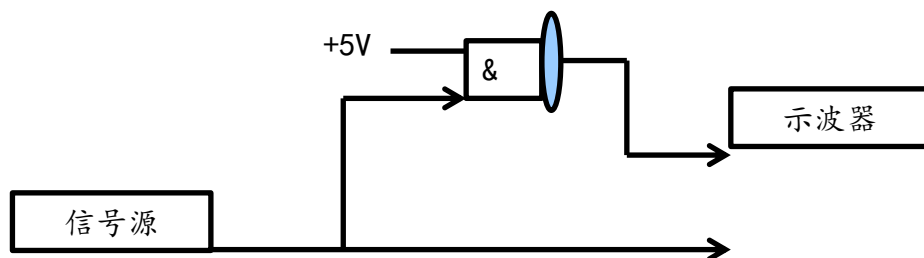


图 22 原理图 10

2) 与非门 1 号孔接入实验箱 5V 直流源, 2 号孔由信号源输出 0V~5V 变化的锯齿波(频率 100Hz, 幅值 5V, 偏移 2.5V, 对称性 100%), 先双踪观察输入输出波形。

3) 将示波器转换至 XY 模式，观察传输特性

## 2. 实验数据

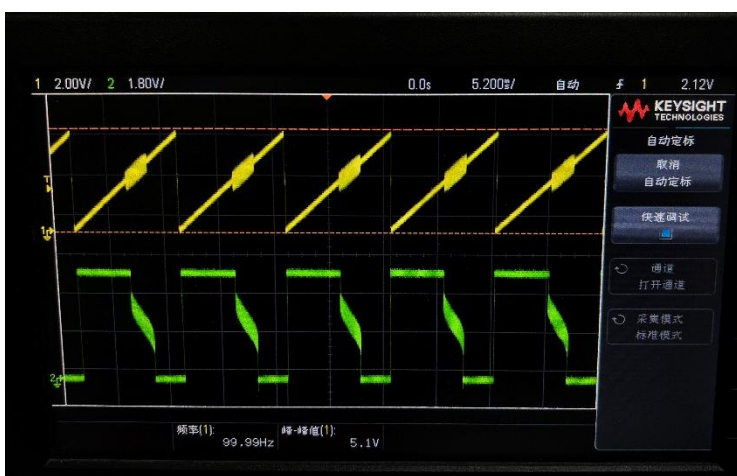


图 23 示波器双踪观察输入输出波形

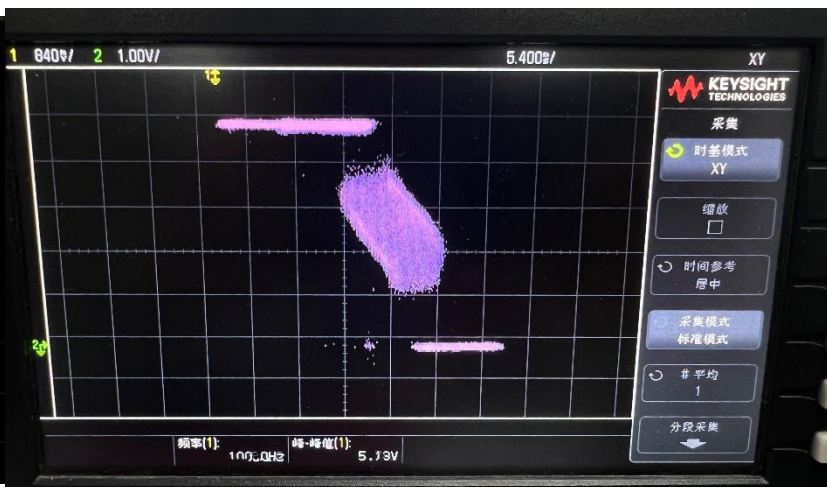


图 24 示波器 XY 模式观察传输特性

## 3. 数据处理与分析

实验中固定 1 号孔输入高电平，2 号孔输入电平在 0~5V 变化。当 2 号输入高电位时，输出为低电位；输入低电位时，输出为高电位，与真值表符合。在 XY 模式下，得到的图像与图 21 逐点法测量得到的电压传输特性图形状相近，尤其是高电平和低电平处的水平线段，和理论相符。

## 内容五：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. 实验步骤

1) 按原理图连接电路，其中左侧用直流恒压源代替，14 孔 – 实验箱 5V 电压，7 孔 – GND，1 孔

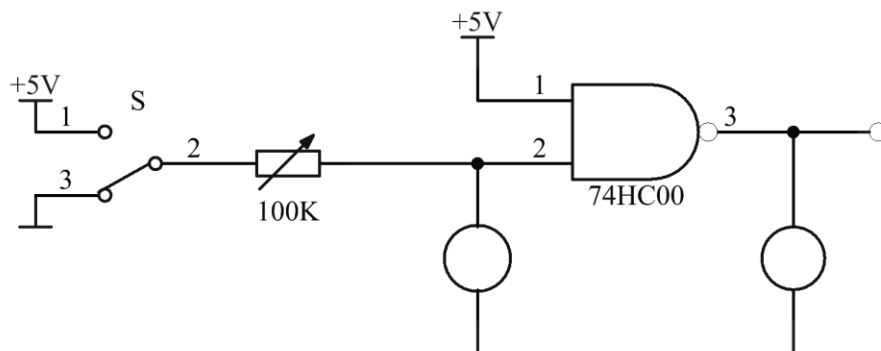


图 25 原理图 11

– 实验箱 5V 电源。

2) 调节电位器，用万用表欧姆档接在电位器两端测量阻值直至示数为 100kΩ。

- 3) 用万用表电压档分别测量 2 孔对地电压（即输入电压） $V_I$ ，再测量 3 孔对地电压（即输出电压） $V_O$ 并记录。
- 4) 分别将电位器阻值调节至  $51\Omega$ 、 $510\Omega$ 、 $1k\Omega$ 、 $10k\Omega$  重复 2) 3)，记录数据。
- 5) 分别将稳压源调至  $0.2V$ 、 $0.4V$ ，重复 2) 3) 4)，记录数据。

## 2. 实验数据

表 7 74LS00 与非门输入电流测试数据

输入电平	低电平				
S 接入位置	0V				
$R_I/\Omega$	51	510	1K	10K	100K
$V_I/V$	0	0	0	0.001	0.02
$V_O/V$	5.033	5.033	5.033	5.033	5.033
S 接入位置	0.2V				
$R_I/\Omega$	51	510	1K	10K	100K
$V_I/V$	0.2	0.2	0.2	0.202	0.222
$V_O/V$	5.033	5.033	5.033	5.033	5.033
S 接入位置	0.4V				
$R_I/\Omega$	51	510	1K	10K	100K
$V_I/V$	0.4	0.4	0.4	0.402	0.42
$V_O/V$	5.033	5.033	5.033	5.033	5.033
输入电平	高电平				
S 接入位置	2.4V				
$R_I/\Omega$	51	510	1K	10K	100K
$V_I/V$	2.4	2.4	2.4	2.4	2.665
$V_O/V$	5.034	5.033	5.033	5.033	0.228
S 接入位置	3.6V				
$R_I/\Omega$	51	510	1K	10K	100K
$V_I/V$	3.6	3.6	3.6	3.598	3.588
$V_O/V$	0.0035	0.0035	0.0035	0.0036	0.0041
S 接入位置	4V				
$R_I/\Omega$	51	510	1K	10K	100K
$V_I/V$	4	4	4	3.998	3.985
$V_O/V$	0.011	0.0157	0.0213	0.0248	0.0368
S 接入位置	5V				
$R_I/\Omega$	51	510	1K	10K	100K
$V_I/V$	5.037	5.037	5.037	5.034	5.013
$V_O/V$	0.003	0.003	0.003	0.009	0.03

## 3. 数据处理与分析

由于 1 号孔一直输入高电平，故当 2 号孔输入为低电平时，输出均为高电平，且输入电压随着接入

电阻的增大而略有增大，说明电阻对输入电压的影响很小，即输入的电流很小，几乎为 0。

当 2 号孔输入为 2.4V 时，以 TTL 电平标准来看是高电平，理论输出应为低电平。但当输入电压为 2.4V 时，实际输出为高电平；当电位器调至 100kΩ 时，实际输入电压为 2.665V，实际输出为低电平，说明该与非门的高电平在 2.4V 以上到 2.665V 之间。2.4V 是一个比较特殊的临界位置。

当 2 号孔输入为 3.6V、4V、5V 时，没有问题，输入高电平输出均为低电平。但是随着输入电压和接入的电阻增大，相应的输出电压也随之有略微增大。

内容六：与非门输出电流测量

● 输出低电平/高电平，不同负载电阻时的输出电平和输出电流

1. 实验步骤

- 1) 先按原理图右侧低电平的方式连接电路，其中 14 号孔 – 实验箱 5V 电源，7 号孔 – GND，1,2 号孔及右侧的电源由实验箱上的 5V 插口提供，保证电路共地。

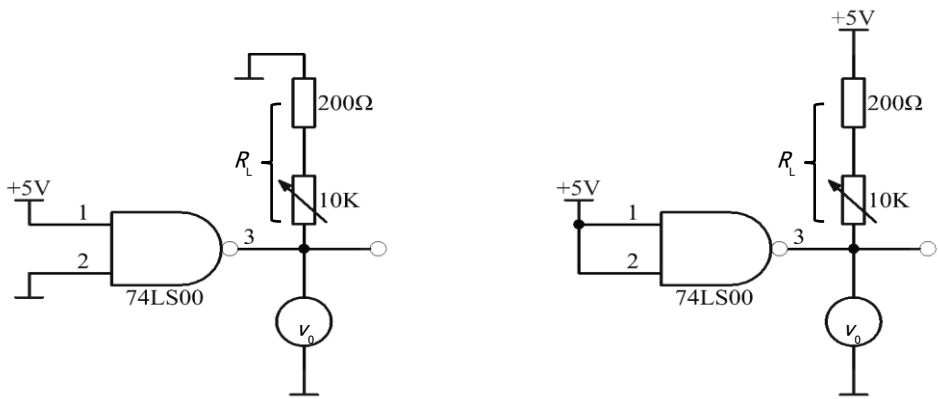


图 26 原理图 11 输出高电平（左） 输出低电平（右）

- 2) 改变电位器和保护电阻的总阻值  $R_L$ ，使其分别为 220Ω、470Ω、2.2kΩ、10kΩ， $\infty$ （断路），记录玩偶样表测得的输出电压  $V_o$ ，利用公式  $i_o = (V_o - 5V) / R_L$ ，计算出  $i_o$  并记录。
- 3) 再按原理图左侧高电平的方式连接电路，与（1）类似，保证共地。
- 4) 重复步骤 2)，其中  $i_o = V_o / R_L$ ，计算出相应  $i_o$ 。
- 5) 绘制  $V_o$ - $i_o$  图像。

2. 实验数据

表 8 74LS00 与非门输出负载电流测试

输出电平	低电平				
$R_L / \Omega$	$\infty$	10k	2.2k（变阻器）	470（变阻器）	220
$V_o / V$	0.0046	0.0097	0.0399	0.1789	0.3746
计算 $i_o / mA$	0	-0.4990	-2.2546	-10.2577	-21.0245
输出电平	高电平 5.062V				
$R_L / \Omega$	$\infty$	10k	2.2k（变阻器）	470（变阻器）	220
$V_o / V$	5.062	5.023	4.976	4.793	4.533
计算 $i_o / mA$	0.0000	0.5023	2.262	10.198	20.605

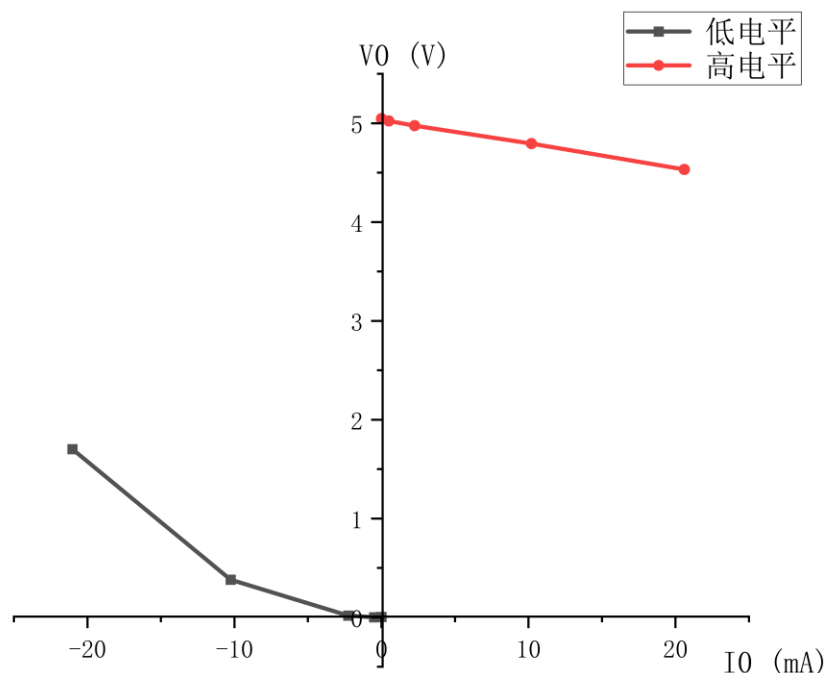


图 27 与非门输出端负载特性曲线

### 3. 数据处理与分析

两电流方向相反，低电平输出下输出电压随输出电流增大的改变量更大。

## 四、实验心得

1. 本次实验我对三极管、门电路的认识更进一步，同时加强了我对常用软件 Multisim、Excel、Origin 甚至是写实验报告时的 Word 的掌握程度。
2. 在三极管测试的实验过程中我们发现，随着逐点法不断改变电压电流，测试时间的升高，有几组数据变得不那么合理。我们想到三极管的温度会在不断升高，而三极管的特性是会受到温度影响的。发现这个问题之后我们将三极管取下来冷却之后再继续实验，并将之前测得不合理数据剔除并重新测量。这也给我们启发：电路中元件可能会受到温度影响，不能长时接入电路中，如发现元件过热应当暂停实验并使其冷却后再进行实验。
3. 在进行 Multisim 扫描法仿真时我发现，一定要调整好输出的参数。以电流为例，在《电路实验教程（第3版）》第153页有对说明：“在 Multisim 中，流经电压源的电流方向默认为从电压源的正极流向负极，而我们希望观测的是三极管集电极电流  $I_c$ ，由集电极流向发射极，因此选择  $I(V_{cc})$  的反向，这可以通过输出变量表达式进行设置。”我在做仿真时一开始是放置了探针，此时默认的输出就是探针的电压和电流，这样我在扫描参数设定无误的情况下，在图示仪视图中得到的图像是一个与理论图像有  $45^\circ$  偏转的图像，其纵轴标注为“电压|电流”，但是我导出 U 和 I 的 csv 文件并用 Origin 画图得到的结果却是正确的。我花了一晚上没有解决这个问题，第二天查阅书本后才发现，需要设定输出参数，而且需要注意方向。
4. 在安装与非门芯片时，我们第一次安装时有一个管脚没有插进去，发生了比较大程度的弯折，拔出来再插进去的时候可能没法插到底，导致在测试时出来的结果不对。后来分析发现我们所选的那个门电路的一个管脚应该就是我们开始时弄弯的那个管脚，因为它好像一直是默认低电位。发现问题

后我们换了另一个与非门测试，马上得到了正确的结果。在涉及这类带管脚的精密元件时，我们应该小心操作，万一出现管脚弯折等情况应及时检测该元件是否损坏，或换一个新的确认无损的元件进行实验，不然会耽误时间而且可能导致做的实验结果都是错的。

5. 在涉及二次测量的数据计算时，可以结合图像来判断数据有无计算错误。在实验内容六中，低电平和高电平电路计算  $i_o$  的公式是不同的，在处理图像时我发现这个图像与理论严重不符（两个都是正电流），检查 Excel 单元格公式时发现是在使用“自动填充”工具时多拉了一下，把高电位和低电位的用同一个公式带入，得到了错误的结果。之后及时修正了计算公式，得到的结果是正确的。