

# 浙江大学

## 电路与电子技术 实验报告

实验名称: 三极管和门电路特性测试

实验人员: 潘谷雨、杨骐恺

报告撰写: 潘谷雨

学号: 3220102382

实验日期: 2023 年 10 月 16 日

地点: 东三 406

## 【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

## 【实验内容】（测试方案，含仿真与硬件测试两种类型）

### 一、万用表测量三极管

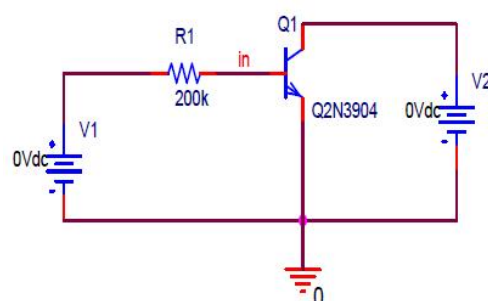
#### （1）用万用表简单测试三极管

1. 判别三极管类型。将数字万用表拨至直流电压 6V 档，取一型号为 C9013 H239 的三极管，平面朝实验人员，设从左到右管脚分别为 1、2、3。黑表笔接 2 脚，红表笔接 1 脚，测量压降  $U_{21}$ 。保持黑表笔位置不变，红表笔接右管脚，测量压降  $U_{23}$ 。
2. 测试三极管 e、b、c 三极，并测量放大倍数。将万用表拨至 hFE 档，保持三极管朝向不变，从左至右分别将 1、2、3 管脚插入万用表 c、b、e 三孔，读出示数  $\beta_1$ 。将管脚 3 插入 c 孔，管脚 1 插入 e 孔，读出示数  $\beta_2$ 。

#### （2）采用逐点测量法测量三极管输入 $V_A$ 特性

固定  $V_{ce}$  下，考察  $I_b$  与  $V_{be}$  的关系。

1. 取 C9013 三极管 Q1、标称  $200k\ \Omega$  / 1W 的电阻 R1 与稳压直流电源，如图所示搭建电路，由通道 CH4 提供电动势  $V_2$ ，通道 CH1 提供电动势  $V_1$ 。将万用表并联在三极管发射结两端，采用直流电压 6V 档测量  $U_{be}$ 。



2. 测试  $V_{ce} = 15V$  条件下的输入特性。保持通道 CH4 输出电压  $V_2$  为 15.000V 不变，改

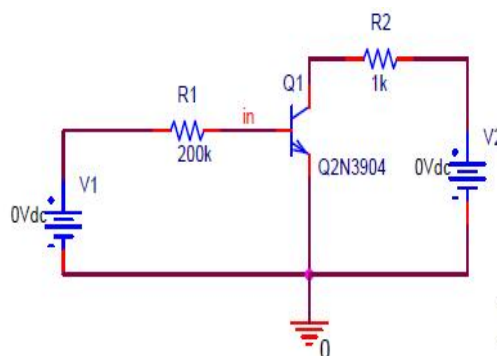
变通道 CH1 输出电压  $V_1$ ，记录万用表示数  $U_{be}$ ，计算得到对应输入电流  $I_b$ ，并绘制三极管输入 VA 特性曲线。

3. 测试  $V_{ce} = 0V$  条件下的输入特性。保持通道 CH4 输出电压  $V_2$  为  $0.000V$  不变，改变通道 CH1 输出电压  $V_1$ ，记录万用表示数  $U_{be}$ ，计算得到对应输入电流  $I_b$ ，并绘制三极管输入 VA 特性曲线。

### (3) 采用逐点测量法测量三极管输出 VA 特性

固定  $I_b$  下，考察  $I_c$  与  $V_{ce}$  的关系。

1. 取 C9013 三极管 Q1、标称  $200k\ \Omega$  /  $1W$  的电阻  $R_1$ 、标称  $1k\ \Omega$  /  $1W$  的电阻  $R_2$  与稳压直流电源，如图所示搭建电路，由通道 CH4 提供电动势  $V_2$ ，通道 CH1 提供电动势  $V_1$ 。将万用表并联在电阻  $R_2$  两端，采用直流电压  $6V$  档测量。



2. 测试  $I_b = 10\ \mu A$  条件下的输入特性。调整通道 CH1 输出电压  $V_1$ ，使  $I_b$  接近  $10\ \mu A$  后，保持输入电路状态不变，改变通道 CH4 输出电压  $V_2$ ，记录万用表示数  $U_{R2}$ ，计算得到对应三极管输出电压  $V_{ce}$  与输出电流  $I_c$ ，并绘制三极管输出 VA 特性曲线。

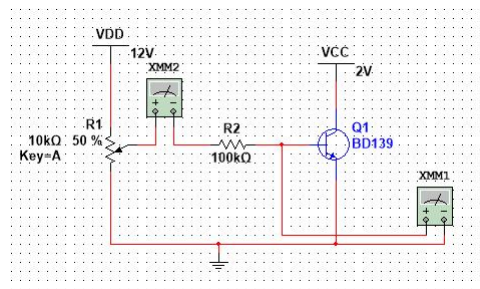
3. 测试  $I_b = 20\ \mu A$  条件下的输入特性。调整通道 CH1 输出电压  $V_1$ ，使  $I_b$  接近  $20\ \mu A$  后，保持输入电路状态不变，改变通道 CH4 输出电压  $V_2$ ，记录万用表示数  $U_{R2}$ ，计算得到对应三极管输出电压  $V_{ce}$  与输出电流  $I_c$ ，并绘制三极管输出 VA 特性曲线。

## 二、采用 MULTISIM 仿真三极管 VA 特性

### (1) 采用 MULTISIM 逐点仿真三极管输入 VA 特性

1. 如图在 MULTISIM 软件上搭建电路，调节  $V_{cc}$ （即输出电压  $V_{ce}$ ）为 0V，调节电位器电阻，读出万用表示数  $I_b$ 、 $U_{be}$ 。

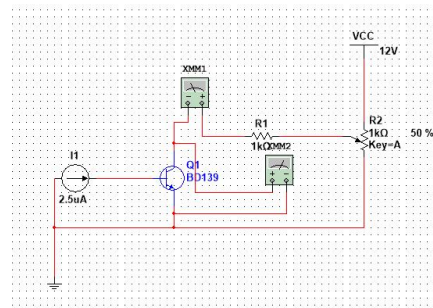
2. 分别调节  $V_{ce}$  为 1V；5V，测量  $I_b$ 、 $U_{be}$ ，绘制三极管输入 VA 特性曲线。



（2）采用 MULTISIM 逐点仿真三极管输出 VA 特性

1. 如图在 MULTISIM 软件上搭建电路，调节输入电流  $I_b$  为  $2.5 \mu A$ ，调节电位器电阻，读出万用表示数  $I_c$ 、 $U_{ce}$ 。

2. 分别调节  $I_b$  为  $5 \mu A$ ； $7.5 \mu A$ ； $10 \mu A$ ，测量  $I_c$ 、 $U_{ce}$ ，绘制三极管输出 VA 特性曲线。



### 三、测量与非门的逻辑功能

74LS00 与非门的逻辑功能测量。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. 取一个 74LS00 四-二输入与非门，14 脚接实验箱含 5V 直流电压源，7 脚接地，输入端 1 脚接数据开关 Y1，输入端 2 脚接数据开关 Y2，输出端 3 脚接 LED 指示灯。

2. 保持 Y1、Y2 关闭，采用万用表直流电压 6V 挡，分别测量输入端 1 脚、2 脚及输出端 3 脚电压值。

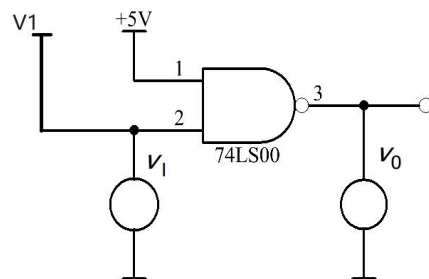
3. 仅打开 Y2，仅打开 Y1，打开 Y1、Y2，测量各组与非门输入、输出电压值。

4. 将与非门输入输出电平值转换成逻辑，得到真值表。

#### 四、与非门传输特性测量

##### (1) 逐点法测量 74LS00 与非门的传输特性

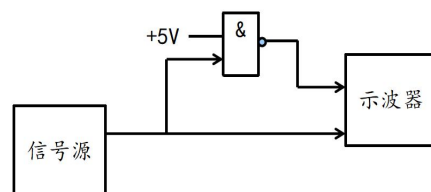
1. 取一个 74LS00 四-二输入与非门，14 脚与输入端 1 脚接 5V 直流电压源，7 脚接地，输入端 2 脚接可变直流电压源，输出端 3 脚接 LED 指示灯。记 2 脚输入电压为  $V_I$ ，3 脚输出电压为  $V_O$ 。



2. 使  $V_I$  在 0-5V 之间变化，用万用表直流电压 6V 挡测量 2 脚、3 脚电压，记录相应的输入电压  $V_I$  和输入电压  $V_O$  的值，并在坐标系中画出电压传输特性。

##### (2) 扫描法测量 74LS00 与非门的传输特性

1. 取一个 74LS00 四-二输入与非门，14 脚与输入端 1 脚接 5V 电源，7 脚接地，输入端 2 脚接信号源，输出端 3 脚接示波器的 CH1 通道，信号源接示波器的 CH2 通道。记 2 脚输入电压为  $V_I$ ，3 脚输出电压为  $V_O$ 。

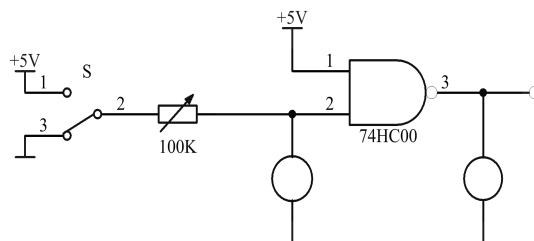


2. 示波器双踪观察输入输出波形。调整信号源参数，使之发出输出频率  $f = 500\text{Hz}$ 、幅值  $A = 5\text{V}$ 、对称性 50%、相位 0 的锯齿波，观察示波器显示输入电压  $V_I$  与输出电压  $V_O$  的波形。

3. 示波器转换至 XY 模式，观察传输特性。横轴为  $V_O$ ，纵轴为  $V_I$ 。

#### 五、与非门输入电流测量

1. 取一个 74LS00 四-二输入与非门，14 脚与输入端 1 脚接 5V 直流电压源，7 脚接地，输入端 2 脚

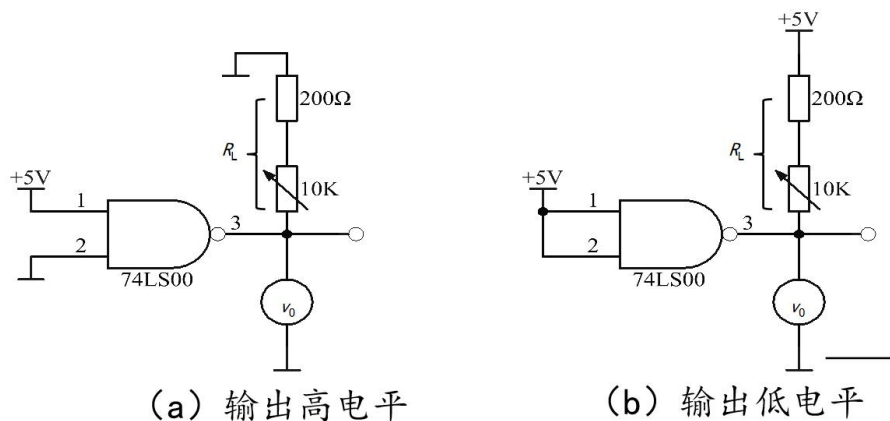


接一电阻，输出端 3 脚接 LED 指示灯。记 2 脚输入电压为  $V_I$ ，3 脚输出电压为  $V_O$ 。

2. 控制输入端电压为 0V，分别选取阻值为  $51\Omega$ 、 $510\Omega$ 、 $1k\Omega$ 、 $10k\Omega$ 、 $100k\Omega$  的电阻，用万用表 6V 直流电压挡分别测量  $V_I$ 、 $V_O$ ，计算得到 2 脚输入电流  $I_I$ 。

3. 控制输入端电压分别为为 0.2V、0.4V 低电平与 2.4V、3.6V、4V、5V 高电平，重复上述实验，计算得到 2 脚输入电流  $I_I$ 。

## 六、与非门输出电流测量



1. 取一个 74LS00 四-二输入与非门，如左图所示搭建电路，1 脚接 5V 电源，2 脚接地，3 脚输出高电平。分别选取阻值为  $220\Omega$ 、 $470\Omega$ 、 $2.2k\Omega$ 、 $10k\Omega$ 、 $\infty$ （断路）的电阻连接 3 脚与地，用万用表 6V 直流电压挡测量 3 脚输出电平  $V_O$ ，计算得到 3 脚输出电流  $I_O$ 。

2. 将 2 脚改接 5V 电源，3 脚输出低电平。将电阻一端连接 5V 电源，重复上述实验，测量 3 脚输出电平  $V_O$ ，计算得到 3 脚输出电流  $I_O$ 。

### 【测试过程与结果】（注明测试设备、原始数据）

#### 一、万用表测量三极管

(1) 用万用表简单测试三极管（测试设备：UT890D+数字万用表）

$U_{21} = 0.072V$ ,  $U_{23} = 0.073V$ 。

管脚 1、2、3 分别对应 c、b、e 三孔时,  $\beta_1 = 16$ ;

管脚 1、2、3 分别对应 e、b、c 三孔时,  $\beta_2 = 188$ 。

(2) 采用逐点测量法测量三极管输入 VA 特性 (测试设备: UT890D+数字万用表, 稳压源: GPD-4303S 直流电源)

当  $V_{ce} = 15V$  时, 调整  $V_1$  电压  $U_1$ , 读出万用表示数  $U_{be}$ , 计算得到  $I_b = (U_1 - U_{be})$

$/R_1$ , 得到数据如下:

$U_1/V$	0.000	0.100	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	1.000	1.200	1.400	1.600	2.900	4.000	5.200
$U_{be}/V$	0.000	0.099	0.471	0.522	0.547	0.562	0.573	0.580	0.591	0.599	0.604	0.625	0.635	0.641
$I_b/\mu A$	0.000	0.005	0.145	0.390	0.765	1.19	1.64	2.10	3.05	4.01	4.98	11.38	16.83	22.80

当  $V_{ce} = 0V$  时, 得到数据如下:

$U_1/V$	0.000	0.100	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	1.000	1.200	1.400	1.700	2.500	4.000	5.200
$U_{be}/V$	0.000	0.099	0.295	0.381	0.443	0.476	0.494	0.506	0.514	0.521	0.532	0.539	0.548	0.563	0.578	0.588
$I_b/\mu A$	0.000	0.005	0.025	0.095	0.285	0.620	1.03	1.47	1.93	2.40	3.34	4.31	5.76	9.69	17.11	23.06

(3) 采用逐点测量法测量三极管输出 VA 特性 (测试设备: UT890D+数字万用表, 稳压源: GPD-4303S 直流电源)

在确定  $I_b$  时, 我们从逐点测量法测量三极管输入 VA 特性实验中选取  $I_b$  小于与大于  $10 \mu A$  且最接近的两组数据, 即  $U_1 = 1.600V$ ,  $I_b = 4.98 \mu A$  与  $U_1 = 2.900V$ ,  $I_b = 11.38 \mu A$ , 将  $U_1$ 、 $I_b$  的关系看作近似线性, 要使  $I_b = 10 \mu A$ , 则算得  $U_1$  应为  $2.62V$ 。

控制  $U_1 = 2.600V$ , 测得  $U_{be} = 0.564V$ , 则  $I_b = (U_1 - U_{be}) / R_1 = 10.18 \mu A$ 。调整  $V_2$  电压  $U_2$ , 读出  $R_2$  两端电压  $U_{R2}$ , 计算得到  $V_{ce} = U_2 - U_{R2}$ ,  $I_c = U_{R2} / R_2$ , 得到数据如下:

U <sub>2</sub> /V	0.000	0.103	0.203	0.301	0.402	0.501	0.602	0.701	0.802	0.902
U <sub>R2</sub> /V	0.000	0.085	0.175	0.267	0.361	0.455	0.550	0.645	0.740	0.836
U <sub>ce</sub> /V	0.000	0.018	0.028	0.034	0.041	0.046	0.052	0.056	0.062	0.066
I <sub>c</sub> /mA	0.000	0.085	0.175	0.267	0.361	0.455	0.550	0.645	0.740	0.836

U <sub>2</sub> /V	1.002	1.402	1.502	1.602	1.702	1.802	1.901	2.202	2.502	3.101	4.001
U <sub>R2</sub> /V	0.932	1.311	1.404	1.496	1.586	1.671	1.749	1.848	1.857	1.868	1.881
U <sub>ce</sub> /V	0.070	0.091	0.098	0.106	0.116	0.131	0.152	0.354	0.645	1.233	2.120
I <sub>c</sub> /mA	0.932	1.311	1.404	1.496	1.586	1.671	1.749	1.848	1.857	1.868	1.881

以同样方法确定 U<sub>1</sub>，控制 U<sub>1</sub> = 4.699V，测得 U<sub>be</sub> = 0.653V，则 I<sub>b</sub> = (U<sub>1</sub>-U<sub>be</sub>)/R<sub>1</sub> = 20.23 μA。得到数据如下：

U <sub>2</sub> /V	0.000	0.105	0.205	0.303	0.503	0.703	1.004	1.304	1.603	1.903	2.003	2.103	2.204	2.303	2.402
U <sub>R2</sub> /V	0.000	0.093	0.187	0.281	0.474	0.667	0.96	1.252	1.547	1.841	1.939	2.037	2.135	2.233	2.330
U <sub>ce</sub> /V	0.000	0.012	0.018	0.022	0.029	0.036	0.044	0.052	0.056	0.062	0.064	0.066	0.069	0.07	0.072
I <sub>c</sub> /mA	0.000	0.093	0.187	0.281	0.474	0.667	0.96	1.252	1.547	1.841	1.939	2.037	2.135	2.233	2.330

U <sub>2</sub> /V	2.503	2.802	3.001	3.101	3.202	3.302	3.402	3.502	3.602	3.801	4.001	4.201	4.502	4.902	5.201
U <sub>R2</sub> /V	2.428	2.72	2.909	3.005	3.101	3.197	3.291	3.385	3.477	3.649	3.777	3.812	3.829	3.841	3.853
U <sub>ce</sub> /V	0.075	0.082	0.092	0.096	0.101	0.105	0.111	0.117	0.125	0.152	0.224	0.389	0.673	1.061	1.348
I <sub>c</sub> /mA	2.428	2.72	2.909	3.005	3.101	3.197	3.291	3.385	3.477	3.649	3.777	3.812	3.829	3.841	3.853

## 二、采用 MULTISIM 仿真三极管 VA 特性

### (1) 采用 MULTISIM 逐点仿真三极管输入 VA 特性

当 V<sub>ce</sub> = 0V 时，得到数据如下：

R	0%	5%	10%	15%	20%	30%	35%	45%	65%	85%	100%
U <sub>be</sub> /mV	0.00	476.25	524.06	541.35	551.96	565.60	570.51	578.31	589.47	597.63	602.69
I <sub>b</sub> /μA	0.000	1.232	6.699	12.43	18.19	29.72	35.49	47.052	70.50	94.82	113.97

当 V<sub>ce</sub> = 1V 时，得到数据如下：

R	0%	5%	10%	15%	20%	30%	35%	45%	65%	85%	100%
U <sub>be</sub> /mV	0.00	540.86	600.35	617.79	628.19	641.44	646.22	653.82	664.80	672.97	678.10
I <sub>b</sub> /μA	0.000	0.589	5.943	11.67	17.44	28.98	34.75	46.32	69.77	94.07	113.22

当 V<sub>ce</sub> = 5V 时，得到数据如下：



R	0%	5%	10%	15%	20%	30%	35%	45%	65%	85%	100%
$U_{be}/mV$	0.00	540.86	600.35	617.79	628.19	641.45	646.23	653.84	664.83	673.00	678.14
$I_b/\mu A$	0.000	0.589	5.943	11.67	17.44	28.98	34.75	46.32	69.77	94.07	113.22

## (2) 采用 MULTISIM 逐点仿真三极管输出 VA 特性

当  $I_b = 2.5 \mu A$  时，得到数据如下：

R	0%	5%	10%	15%	20%	30%	45%	65%	85%	100%
$U_{ce}/V$	0.00	0.28	0.87	1.45	2.04	3.23	5.01	7.41	9.84	11.68
$I_c/\mu A$	-1.62	305.50	306.64	307.50	308.28	309.92	312.41	315.75	319.12	321.68

当  $I_b = 5 \mu A$  时，得到数据如下：

R	0%	5%	10%	15%	20%	30%	45%	65%	85%	100%
$U_{ce}/V$	0.00	0.11	0.53	1.11	1.69	2.85	4.62	7.03	9.48	11.36
$I_c/\mu A$	-2.32	464.18	612.98	614.58	616.19	619.43	624.36	631.05	637.88	643.11

当  $I_b = 7.5 \mu A$  时，得到数据如下：

R	0%	5%	10%	15%	20%	30%	45%	65%	85%	100%
$U_{ce}/V$	0.00	0.09	0.21	0.76	1.33	2.48	4.23	6.64	9.12	11.04
$I_c/\mu A$	-2.68	490.81	908.87	920.74	923.11	927.91	935.24	945.29	955.66	963.65

当  $I_b = 10 \mu A$  时，得到数据如下：

R	0%	5%	10%	15%	20%	30%	45%	65%	85%	100%
$U_{ce}/V$	0.00	0.07	0.12	0.42	0.97	2.11	3.85	6.26	8.77	10.72
$I_c/\mu A$	-2.89	503.5	990.6	1226	1229	1235	1245	1258	1272	1283

## 三、测量与非门的逻辑功能（测试设备：UT890D+数字万用表）

记 1 脚输入电压为  $V_A$ ，2 脚输入电压为  $V_B$ ，3 脚输出电压为  $V_Y$ ，控制数据开关得到各组数据如下：

	输入 $V_A$	输入 $V_B$	输出 $V_Y$
实际		-0.007	-0.008
		-0.006	4.897
		4.848	-0.006
		4.835	4.865
			4.943
			4.943
			4.943
			0.003

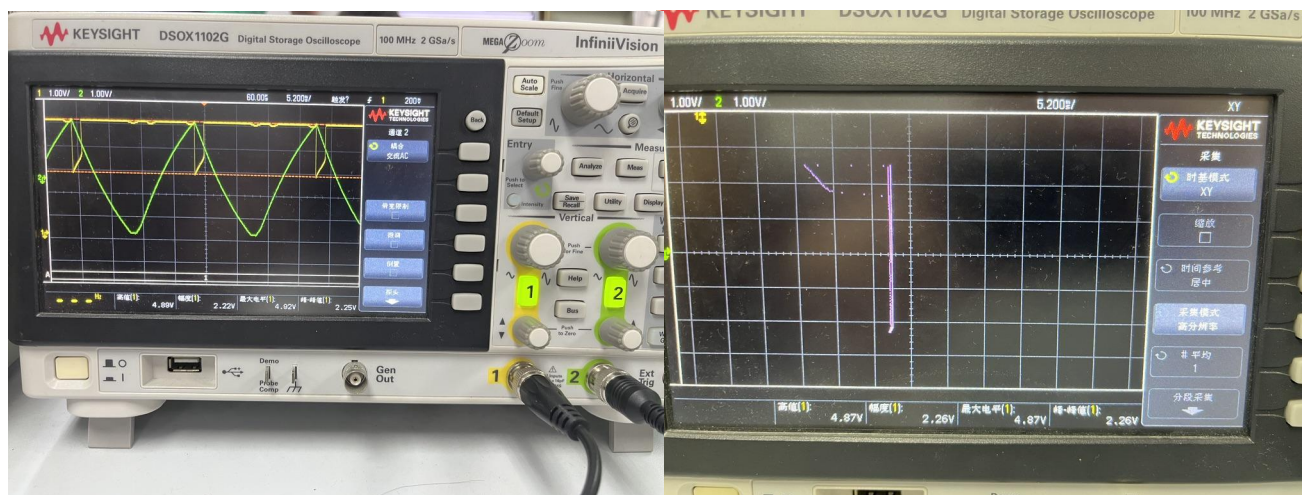
#### 四、与非门传输特性测量

(1) 逐点法测量 74LS00 与非门的传输特性 (测试设备: UT890D+数字万用表)

$V_I$	-0.014	0.604	0.704	0.805	0.905	1.006	1.107	1.207	1.308	2.013	2.405	2.518	2.617	3.02	5.035
/V															
$V_O$	4.958	4.956	4.957	4.958	4.957	4.957	4.957	4.958	4.954	4.957	4.957	2.805	0.001	0.001	0.000
/V															

(2) 扫描法测量 74LS00 与非门的传输特性 (测试设备: DSOX1102G 示波器, 信号源: DG1022 信号发生器)

CH1 (左图黄线) 为输出电压  $V_O$ , CH2 (左图绿线) 为输入电压  $V_I$ 。



#### 五、与非门输入电流测量 (测试设备: UT890D+数字万用表)

得到各组数据如下:

S 位置	0.000V				
$R_I/\Omega$	51	510	1k	10k	100k
$V_I/V$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$V_O/V$	4.94	4.95	4.95	4.94	4.94
$I_I/mA$	96.86	9.71	4.95	0.49	0.05
S 位置	0.203V				
$R_I/\Omega$	51	510	1k	10k	100k
$V_I/V$	0.20	0.19	0.19	0.23	0.2
$V_O/V$	4.24	4.95	4.94	4.95	4.94
$I_I/mA$	83.06	9.71	4.94	0.50	0.05

S 位置			2. 401V		
RI/ $\Omega$	51	510	1k	10k	100k
VI/V	2. 42	2. 445	2. 444	2. 412	2. 45
VO/V	2. 82	2. 74	2. 68	2. 366	0. 186
II/mA	55. 33	5. 37	2. 68	0. 24	0. 00
S 位置			3. 600V		
RI/ $\Omega$	51	510	1000	10000	100000
VI/V	3. 624	3. 624	3. 624	3. 621	3. 592
VO/V	0. 003	0. 003	0. 003	0. 002	0. 003
II/mA	0. 06	0. 01	0. 00	0. 00	0. 00
S 位置			4. 000V		
RI/ $\Omega$	51	510	1000	10000	100000
VI/V	4. 027	4. 027	4. 027	4. 023	3. 991
VO/V	0. 003	0. 003	0. 003	0. 003	0. 003
II/mA	0. 06	0. 01	0. 00	0. 00	0. 00
S 位置			5. 000V		
RI/ $\Omega$	51	510	1000	10000	100000
VI/V	5. 035	5. 035	5. 034	5. 03	4. 989
VO/V	0. 003	0. 003	0. 002	0. 002	0. 003
II/mA	0. 06	0. 01	0. 00	0. 00	0. 00

## 六. 与非门输出电流测量（测试设备：UT890D+数字万用表）

74LS00			输出低电平		
RI/ $\Omega$	$\infty$	10000	2200	470	220
VO/V	4. 989	4. 972	4. 969	4. 969	4. 970
IO/mA	0	0. 487	2. 070	7. 416	11. 833
74LS00			输出高电平		
RI/ $\Omega$	$\infty$	10000	2200	470	220
VO/V	0. 000	0. 000	0. 000	0. 000	0. 000
IO/mA	0	0. 490	2. 083	7. 463	11. 905

### 【结果分析】

#### 一、万用表测量三极管

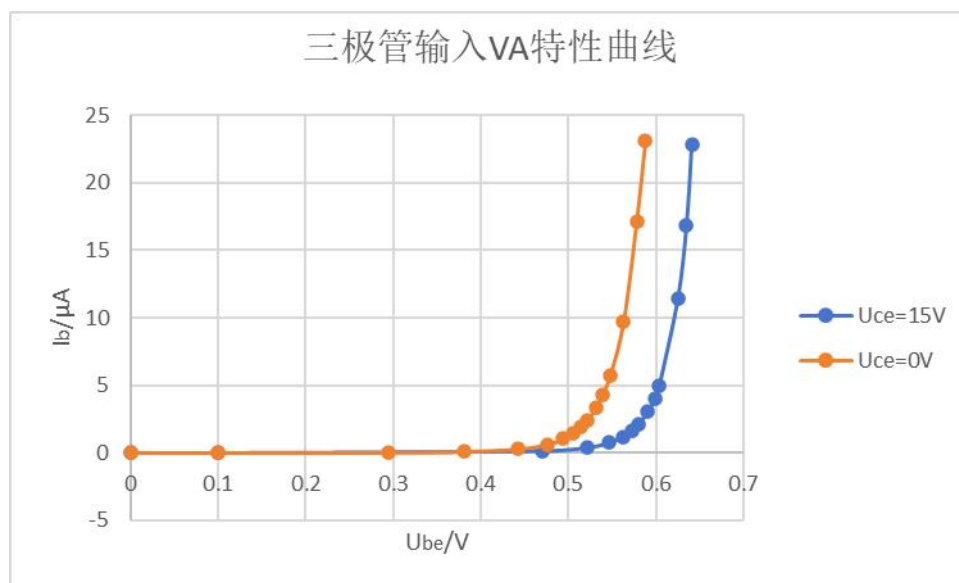
##### （1）用万用表简单测试三极管

U<sub>21</sub> = 0. 072V, U<sub>23</sub> = 0. 073V, 说明该三极管为 NPN 型三极管, 2 脚为基极, 1 脚与 3 脚为发射极或集电极。

$\beta_1 = 16$ ,  $\beta_2 = 188$ , 三极管 9013 (NPN) 的特性参数  $h_{FE}$  范围在 64 ~ 202, 说明管脚 1、2、3 分别为 e、b、c 三极, 且电流放大倍数  $\beta = 188$ 。

## (2) 采用逐点测量法测量三极管输入 VA 特性

C9013 三极管输入 VA 特性曲线如下:



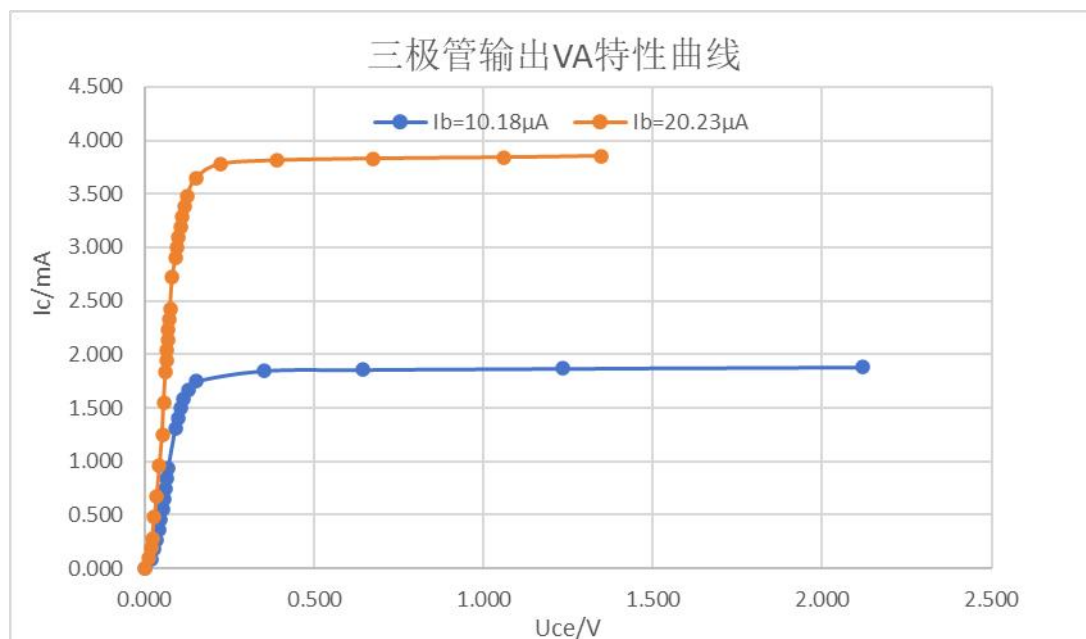
对于  $U_{ce} = 0V$ ,  $U_{be}$  从 0 开始增大的过程中, 当  $U_{be} < 0.48V$  时, 基极电流  $I_b$  为 0, 三极管不导通, 处于截止区; 当  $0.48V < U_{be} < 0.56V$  时,  $I_b$  随  $U_{be}$  增大幅度相对较小, 三极管处于放大区; 当  $U_{be} > 0.56V$  时,  $U_{be}$  变化幅度不大,  $I_b$  随  $U_{be}$  急剧增大, 三极管处于饱和区。

对于  $U_{ce} = 15V$ ,  $I_b-U_{be}$  变化趋势类似, 分隔截止区、放大区的  $U_{be}$  约为  $0.52V$ , 分隔放大区、饱和区的  $U_{be}$  约为  $0.63V$ 。

上图可见输出电压  $U_{ce}$  增大, 三极管输入 VA 特性曲线右移; 对于更大的输出电压  $U_{ce}$ , 要得到同样大小的基极电流  $I_b$ , 需要输入更大的电压。

## (3) 采用逐点测量法测量三极管输出 VA 特性

C9013 三极管输出 VA 特性曲线如下：



对于  $I_b = 10.18\mu A$ ,  $U_{ce}$  从 0 开始增大的过程中, 当  $U_{ce} < 0.15V$  时, 集电极电流  $I_c$  随  $U_{ce}$  急剧增大, 三极管由饱和区逐渐接近放大区; 当  $U_{ce} > 0.15V$  时,  $I_c$  基本不变, 约为  $1.87mA$ ,  $\beta = 1.87mA / 10.18\mu A = 184$ , 三极管处于放大区。

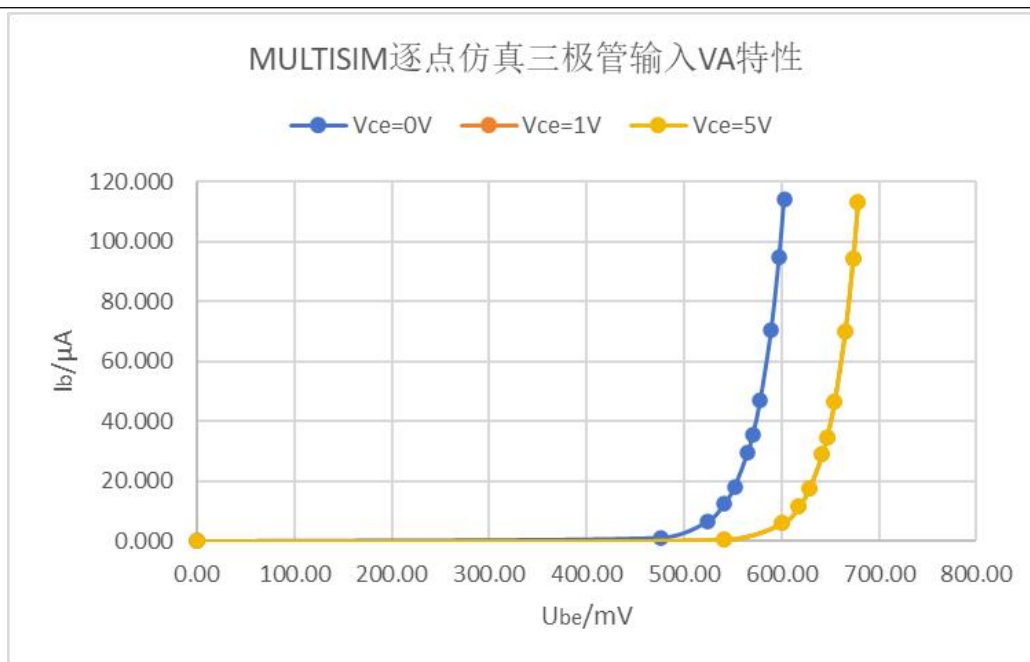
对于  $I_b = 20.23\mu A$ ,  $I_c-U_{ce}$  变化趋势类似, 分隔饱和区、放大区的  $U_{ce}$  约为  $0.22V$ , 放大区电流  $I_c$  约为  $3.84mA$ ,  $\beta = 3.84mA / 20.23\mu A = 190$ 。

上图可见输入电流  $I_b$  增大, 三极管输出 VA 特性曲线上移。

## 二、采用 MULTISIM 仿真三极管 VA 特性

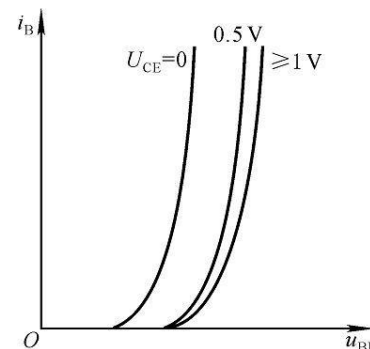
### (1) 采用 MULTISIM 逐点仿真三极管输入 VA 特性

取 BD139 三极管, 控制  $V_{DD} = 12V$ , 对于各组不同的  $V_{ce}$ , 改变电位器输入电阻进而改变输入电压, 得到仿真三极管输入 VA 特性曲线如下:



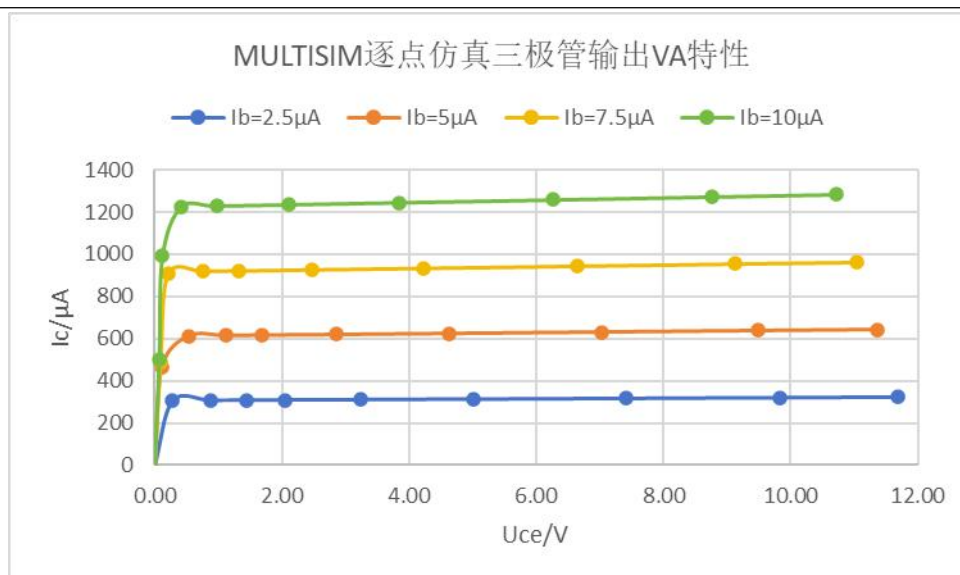
对于  $U_{ce} = 0\text{V}$ ,  $U_{be}$  从 0 开始增大的过程中, 当  $U_{be} < 476.25\text{mV}$  时, 基极电流  $I_b$  为 0, 三极管不导通, 处于截止区; 当  $476.25\text{mV} < U_{be} < 589.47\text{mV}$  时,  $I_b$  随  $U_{be}$  增大幅度相对较小, 三极管处于放大区; 当  $U_{be} > 589.47\text{mV}$  时,  $U_{be}$  变化幅度不大,  $I_b$  随  $U_{be}$  急剧增大, 三极管处于饱和区。

当  $U_{ce}$  分别为 1V、5V 时, 曲线相较于  $U_{ce} = 0\text{V}$  右移且两曲线重合, 符合右图输入 VA 特性曲线关于  $U_{ce}$  的变化规律。 $I_b$ - $U_{be}$  变化趋势与  $U_{ce} = 0\text{V}$  类似, 分隔截止区、放大区的  $U_{be}$  约为  $540.86\text{mV}$ , 分隔放大区、饱和区的  $U_{be}$  约为  $664.83\text{mV}$ 。



## (2) 采用 MULTISIM 逐点仿真三极管输出 VA 特性

取 BD139 三极管, 绘制  $I_b = 2.5\mu\text{A}$ ;  $5\mu\text{A}$ ;  $7.5\mu\text{A}$ ;  $10\mu\text{A}$  条件下仿真三极管输出 VA 特性曲线如下:



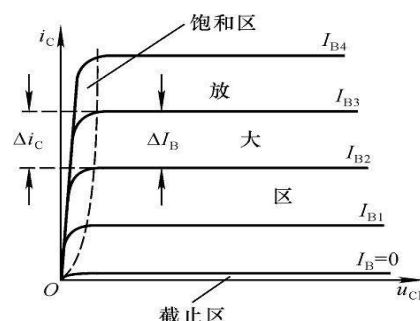
对于  $I_B = 2.5 \mu A$ ,  $U_{CE}$  从 0 开始增大的过程中, 当  $U_{CE} < 0.28V$  时, 集电极电流  $I_C$  随  $U_{CE}$  急剧增大, 三极管由饱和区逐渐接近放大区; 当  $U_{CE} > 0.28V$  时,  $I_C$  基本不变, 约为  $315 \mu A$ ,  $\beta = 315 \mu A / 2.5 \mu A = 126$ , 三极管处于放大区。

对于  $I_B = 5 \mu A$ ,  $I_C-U_{CE}$  变化趋势类似, 分隔饱和区、放大区的  $U_{CE}$  约为  $0.53V$ , 放大区电流  $I_C$  约为  $630 \mu A$ ,  $\beta = 630 \mu A / 5 \mu A = 126$ 。

对于  $I_B = 7.5 \mu A$ ,  $I_C-U_{CE}$  变化趋势类似, 分隔饱和区、放大区的  $U_{CE}$  约为  $0.12V$ , 放大区电流  $I_C$  约为  $943 \mu A$ ,  $\beta = 943 \mu A / 7.5 \mu A = 126$ 。

对于  $I_B = 10 \mu A$ ,  $I_C-U_{CE}$  变化趋势类似, 分隔饱和区、放大区的  $U_{CE}$  约为  $0.42V$ , 放大区电流  $I_C$  约为  $1256 \mu A$ ,  $\beta = 1256 \mu A / 10 \mu A = 126$ 。

上图可见输入电流  $I_B$  增大, 三极管输出 VA 特性曲线上移, 符合右图输出 VA 特性曲线关于  $I_B$  的变化规律。



### 三、测量与非门的逻辑功能

记 1 脚输入电压为  $V_A$ , 2 脚输入电压为  $V_B$ , 3 脚输出电压为  $V_Y$ , 按照高低电平得到逻辑真值表如下:

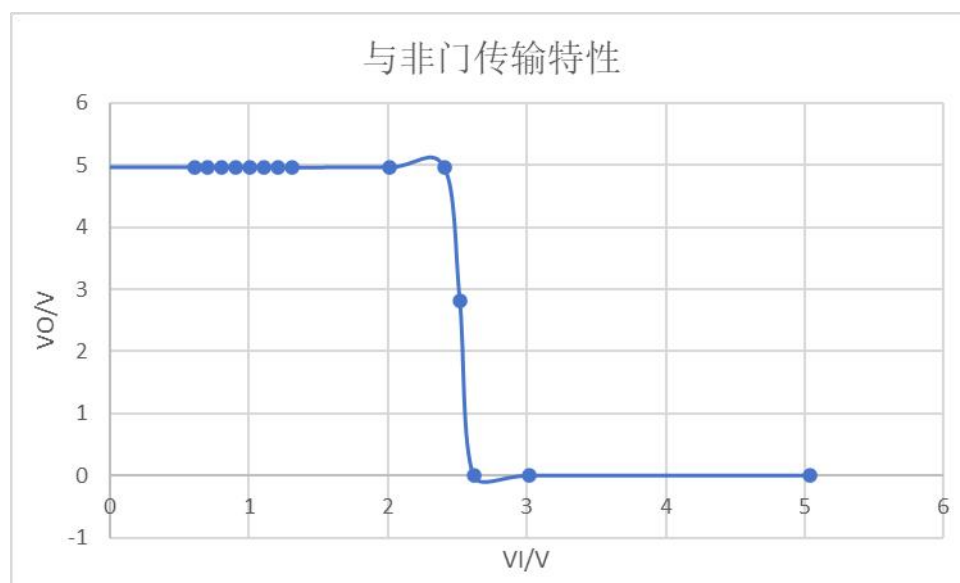
输入		输出
$V_A$	$V_B$	$V_Y$
-0.007	-0.008	4.943
-0.006	4.897	4.943
4.848	-0.006	4.943
4.835	4.865	0.003
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

输入电压与输出电压符合与非门逻辑。

#### 四、与非门传输特性测量

##### (1) 逐点法测量 74LS00 与非门的传输特性

1 脚接 5V 高电平，改变 2 脚输入电压  $V_I$ ， $V_O$  变化趋势如下：



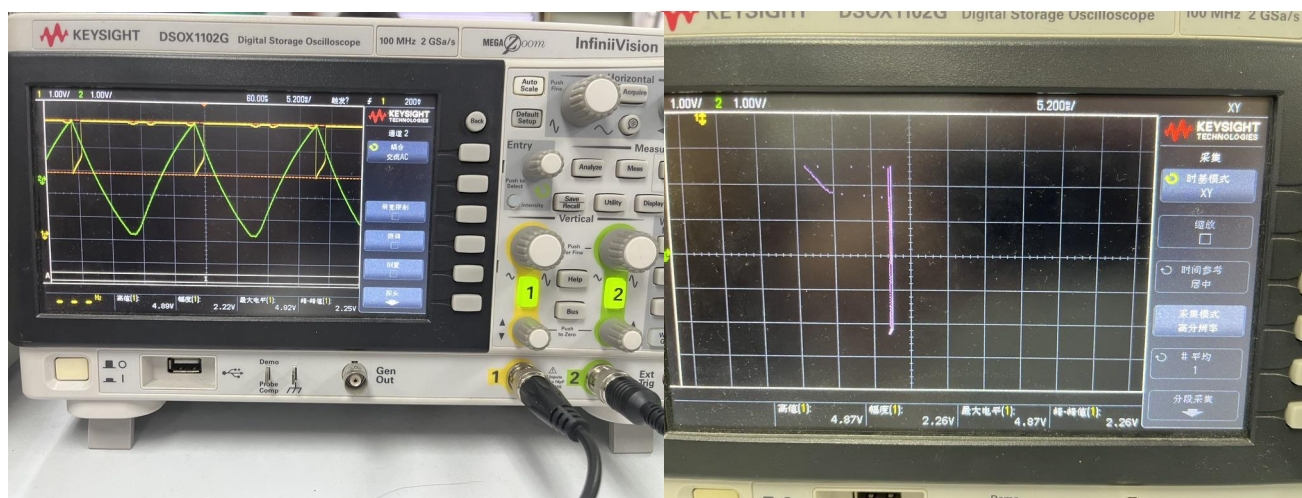
①当  $V_I < 2.405V$  时， $V_O$  稳定输出 5V。

②当  $2.405V < V_I < 2.617V$  时， $V_O$  从 5V 迅速下降至 0V。

③当  $V_I > 2.617V$  时， $V_O$  稳定输出 0V。



## (2) 扫描法测量 74LS00 与非门的传输特性



1 脚接 5V 高电平, 2 脚接信号源, CH2 (左图绿线) 输入周期性锯齿波  $V_I$ , CH1 (左图黄线) 为输出电压  $V_O$ 。

- ①当  $V_I > 0$  且处于上升阶段时, 与非门恒出约 5V 高电平。
- ②当  $V_I$  处于下降阶段时, 在接近 5V 的高电平范围内, 与非门出低电平,  $V_O$  始终大于 0 且随  $V_I$  减小而增大; 在低电平范围内, 与非门持续出约 5V 高电平。
- ③当  $V_I < 0$  时, 与非门恒出约 5V 高电平。

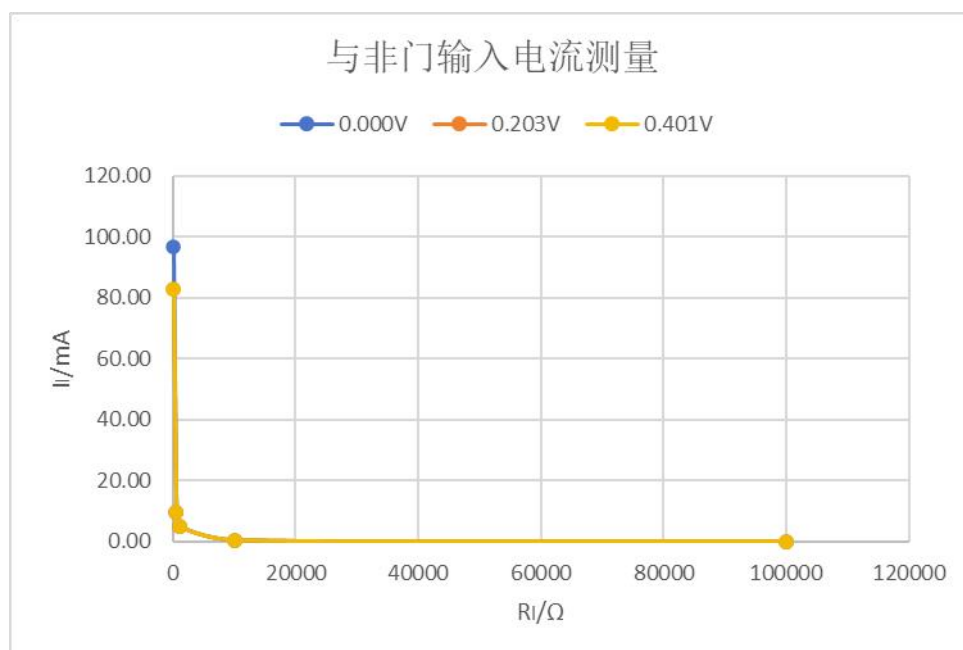
在 XY 模式下, 输入电压在 y 轴扫描, 大部分输出电压  $V_O$  处于高电平 (即右图竖线), 仅高电平且处于下降阶段的输入电压会导致与非门输出低电平 (即右图斜线)。

由此可见, 用扫描法测量与非门的传输特性, 除输入低电平输出高电平外, 还需注意:

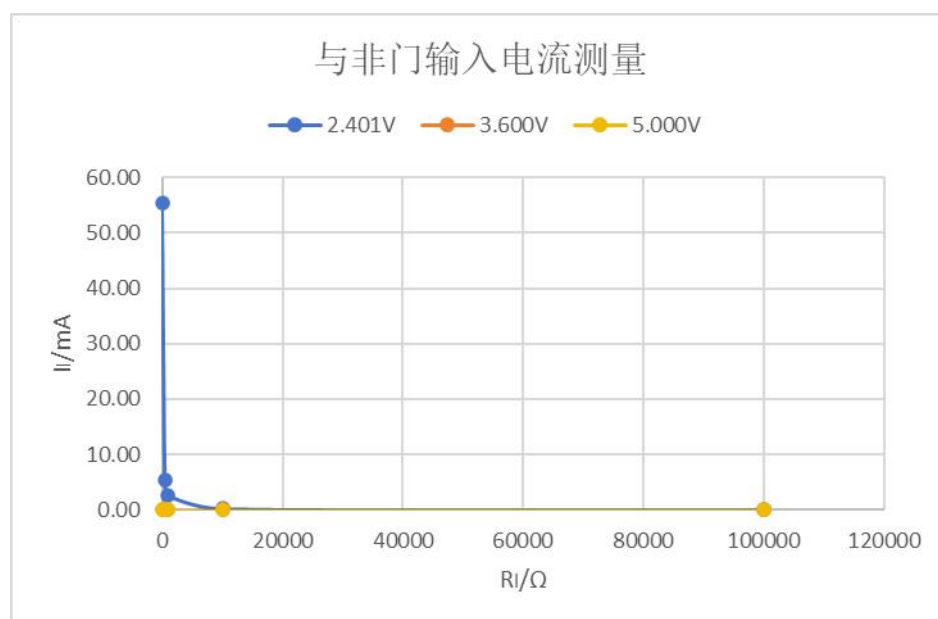
- ①负向电压不会引起输出端的电平变化。
- ②上升阶段可能因频率相对较大, 电容无法及时充放电, 导致与非门延续前面输出的高电压, 因此仅高电平且处于下降阶段的输入电压会导致与非门输出低电平。

## 五、与非门输入电流测量

输入 0、0.2V、0.4V 低电平时，测得输入电流变化曲线如下：



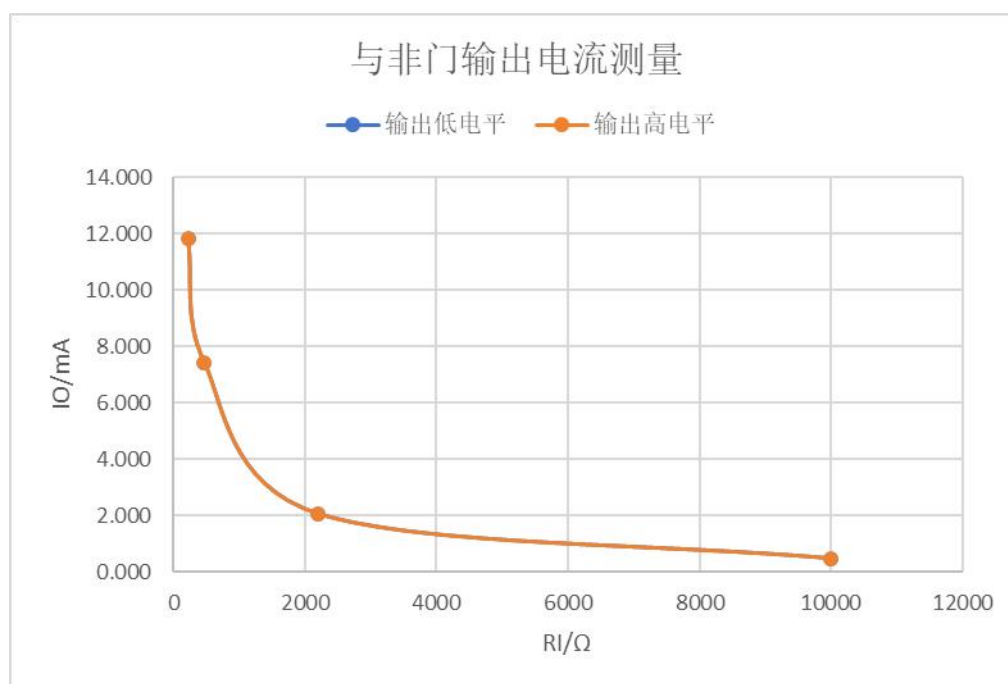
输入 2.4V、3.6V、4V、5V 高电平时，测得输入电流变化曲线如下：



输入低电平或输入 2.401V 时，输入电压与开关 S 处输入电压基本相同，仅在输入 0.401V、 $R_i = 100\text{k}\Omega$  时有较大差距，输出电压均接近 5V 高电平，且输出电压随  $R_i$  增大有略微增大，输入电流均随  $R_i$  增大而减小，且减小速度先快后慢，变化趋势近似于双曲线。

输入低电平时（除输入 2.401V 的情况），输入电压与开关 S 处输入电压基本相同，且输入电压随  $R_I$  增大略微有减小趋势，输出电压均接近 0V 低电平，输入电流均接近 0。

## 六、与非门输出电流测量



输出高低电平时，输出电压基本没有变化，输出电流曲线重合且随着  $R_I$  越大越趋向于 0，减小速度先快后慢，变化趋势近似于双曲线。

### 【探究性实验内容】