



实验与创新实践教育中心

实验报告

课程名称：模拟电子技术实验 实验名称：实验一：二极管与三极管的功能测试

专业-班级：21级自动化6班 学号：210320621 姓名：吴俊达

实验日期：2023 年 4 月 7 日 评分：_____

教师评语：

助教签字：_____

教师签字：_____

日 期：_____

实验预习

实验预习和实验过程原始数据记录

预习结果审核：_____

原始数据审核：_____

(包括预习时，计算的理论数据)

表 1-2 二极管判别记录表格

二极管极性判别	电压值	二极管电阻测量	电阻	二极管电阻测量	电阻
二极管正向电压	0.5886V	二极管正向电阻 (500kΩ 档位)	290.10kΩ	二极管正向电阻 (5MΩ 档位)	0.2967MΩ
二极管反向电压	0.L.	二极管反向电阻 (500kΩ 档位)	0.L.	二极管反向电阻 (5MΩ 档位)	0.L.

表 1-3 晶体管管型判别记录表格

晶体管极性判别	U_{BE}	U_{BC}	U_{CE}	U_{EB}	U_{CB}	U_{EC}	管型
9012	0.L.	0.L.	0.L.	0.777V	0.7255V	1.0186V	PNP 型
9013	0.7057V	0.7024V	1.0755V	0.L.	0.L.	0.L.	NPN 型

表 1-4 晶体管的输入特性测试表格

$I_B(\mu A)$ $U_{BE}(V)$ 测试条件	0	2	4	6	10	20	40	60	80
$U_{CE}=0$	0.0180	0.5154	0.5391	0.5509	0.5640	0.5846	0.6048	0.6162	0.6246
$U_{CE}=2V$	0.0172	0.6086	0.6269	0.6388	0.6534	0.6715	0.6854	0.6914	0.6966

表 1-5 晶体管的输出特性曲线测试表格

$U_{CE}(V)$ $I_C(mA)$ 测试条件	0	1	2	3	5	10
		(1.3V)	(2.2V)			
$I_B=10\mu A$	0.0277	2.2260 (1.23V)	2.2630 (2.44V)	2.2884 (2.44V)	2.3644 (5.146V)	2.5600 (7.980V)
$I_B=20\mu A$	0.0666	4.6784 (1.05V)	4.7647 (2.04V)	4.9181 (3.09V)	5.1374 (5.00V)	5.5263 (7.980V)
$I_B=30\mu A$	0.1007	6.5214 (1.05V)	6.6230 (2.04V)	7.4889 (3.09V)	7.8420 (5.00V)	8.1574 (7.980V)

测试晶体管三种工作状态的特性：
临界饱和时，集电极电流 $I_{CS}=3.7742mA$ 基极电流 $I_{BS}=18.0\mu A$ ， $\beta=209.68$

表 1-6 晶体管的三种工作状态特性测试表格

测试条件	I_B	$U_{CE}(V)$	$U_{BE}(V)$	$I_C(mA)$	晶体管的工作区域	晶体管的两个结的偏置状态
$I_B>I_{BS}$	20 μA	0.460	0.6714	3.9502	饱和区	发射结正偏，集电结正偏
$I_B=0\sim I_{BS}$	10 μA	5.3214	0.6500	2.2486	放大区	发射结正偏，集电结反偏
$I_B=0$	0	11.986	0.0157	20	截止区	发射结反偏，集电结反偏

一、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地使用。
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。

二、实验设备及元器件

1. 直流稳压电源一台，型号 DP832A
2. 手持万用表 2 台，型号 Fluke F237C 和 Fluke 17B+
3. 直流微安表（指针式），1 台，量程为 $0 \sim 100 \mu A$
4. 电阻 4 只，阻值分别为 200Ω ， $1.2 k\Omega$ ， $25 k\Omega$ ， $330 k\Omega$ 。
5. 电位器 3 只，最大阻值分别为 $1 k\Omega$ ， $2.2 k\Omega$ ， $220 k\Omega$
6. 二极管 1 只，型号 1N4007
7. 三极管 2 只，型号分别为 9013 和 9012。

8. 短接桥和连接导线若干，型号分别为 P8-1 和 50148

9. 实验用九孔方板 1 块，大小为 $300 mm \times 298 mm$ 。

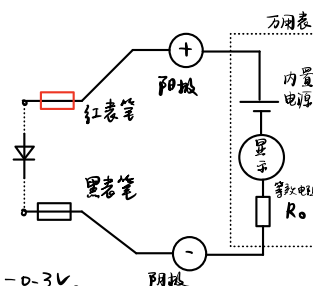
三、实验原理（重点简述实验原理，画出原理图）

（一）判断二极管的极性

用万用表测量二极管极性时，等效电路如右所示。

方法主要有两种：

- ① 用二极管测量挡。若红表笔接的是二极管的阳极，黑表笔接的是二极管的阴极，则二极管导通，呈现低阻态，显示屏会显示二极管的管压降，硅管为 $0.6 \sim 0.7 V$ ，锗管为 $0.2 \sim 0.3 V$ 。
若红表笔接的是二极管的阴极，黑表笔接的是二极管的阳极，则二极管截止，呈现高阻态，显示屏会显示 OL 。
- ② 用电阻测量挡。若红表笔接的是二极管的阳极，黑表笔接的是二极管的阴极，则二极管导通，呈现低阻态，显示屏会显示二极管的电阻值，阻值在几欧至几千欧。
若红表笔接的是二极管的阴极，黑表笔接的是二极管的阳极，则二极管截止，呈现高阻态，显示屏会显示 OL 。

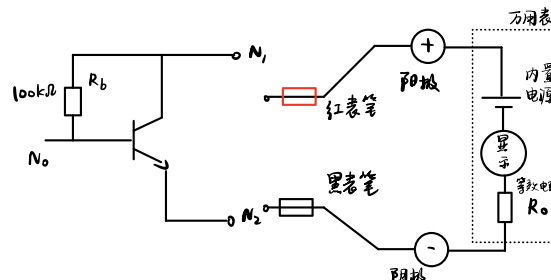
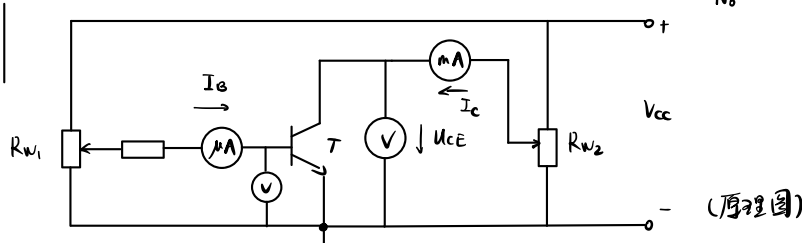


（二）晶体管管脚的判别

1. 基极：可把晶体管的结构看作两个背靠背的二极管。对 NPN 管，基极是这两个二极管的公共阳极，对 PNP 管，基极是这两个二极管的公共阴极，因此，判别基极是公共阳极还是公共阴极，即可知该管是 PNP 型还是 NPN 型。

2. 射极和集电极：用万用表电阻测试挡，将红表笔接 N_1 端，黑表笔接 N_2 端，则测得的电阻小，说明电流大，即 I_c 大。红黑表笔互换，则测得的电阻大，说明 I_c 小。因而， N_1 是集电极 C， N_2 端是发射极 E。

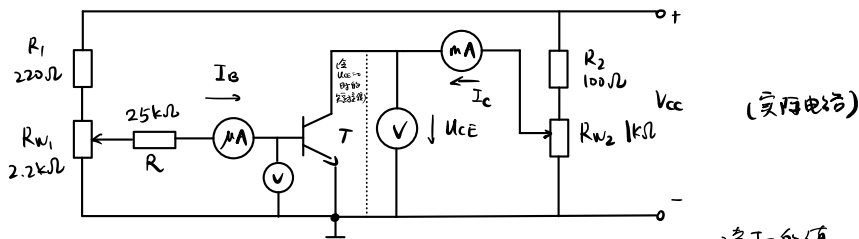
3. 利用逐点调试法测试输入输出特性：



R_{W1} 用于调节 I_B , R_{W2} 用于调节 U_{CE} .

读 I_C 的值,

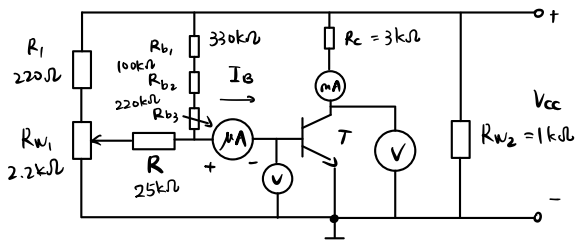
在测量输出特性时, 保持 R_{W1} 不变 (I_B 不变), 改变 R_{W2} (调节 U_{CE}), 可获得一条输出特性曲线. 每画一条曲线后, 改变 R_{W1} 并重复上述步骤. 仅供参考, 切勿抄袭! 如有错误欢迎指正!



读 I_B 的值,

在测量输入特性时, 保持 R_{W2} 不变 (U_{CE} 不变), 改变 R_{W1} (调节 I_B), 可获得一条输入特性曲线. 每画一条曲线后, 改变 R_{W2} 并重复上述步骤.

4. 设置静态工作点, 观察晶体管三种工作状态



先将 R_{W3} 调节至最大, 调节 R_{W1} , 使三极管工作于临界饱和状态

读取集电极电流 I_{CS} 和相应基极电流 I_{BS} . 再调节 R_{W3} , 微调 R_{W1} ,

观察 I_B 与 I_C 的关系, 分别在 $I_B = I_{BS}$, $I_B = 0 \sim I_{BS}$, $I_B = 0$ 时,

测量晶体管在放大、截止、饱和三种状态下的静态工作点.

四、实验过程

（叙述具体实验过程的步骤和方法，记录实验数据在原始数据表格，如需要引用原始数据表格，请标注出表头，如“实验数据见表 1-*”）

1. 二极管判别

用万用表判别二极管 1N4007 的阳极和阴极，并分别用 $500\text{k}\Omega$ 和 $5\text{M}\Omega$ 的档位测量一个二极管的正、反向电阻，分别记录数据于表 1-2 中。

2. 晶体管的管型判别

用万用表的二极管测试端判别晶体管 9013 和 9012 的管型，并将测试数据，电压值记录数据于表 1-3 中，对比两次测试的结果。根据发射结和集电结的正反偏情况，实验结果是：9012 是 PNP 型管，9013 是 NPN 型管。

3. 测量晶体管输入特性

使用三极管 9013，按下图 1 接线，使参变量 $U_{CE}=0$ ；调节 R_{W1} 改变 U_{BE} ，使 I_B 如表 1-4 所列之值。读出相应的 U_{BE} 值，并做出 $I_B=f(U_{BE})|_{U_{CE}=0}$ 输入特性曲线，并分析数据。

按下图 2 接线，其中 mA 表选用台式万用表的电流测试档（量程为 3A 的电流档）， μA 表为指针式电流表，调节 R_{W2} ，使参变量 $U_{CE}=2\text{V}$ ，并保持 U_{CE} 值不变；调节 R_{W1} 。重复上述步骤，并做出 $I_B=f(U_{BE})|_{U_{CE}=2\text{V}}$ 的(输入)特性曲线，并分析数据。

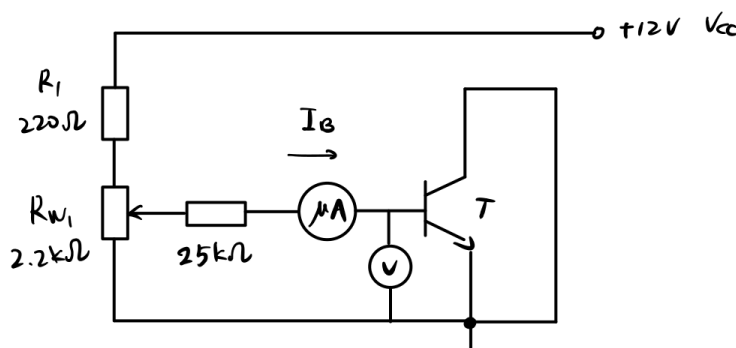


图 1

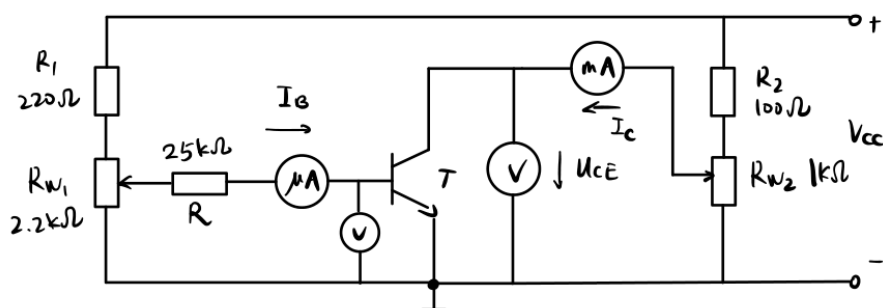


图 2

4. 测量晶体管输出特性

仍按图 2 接线，先置滑动变阻器为中间阻值，调节 R_{W1} 使参变量 I_B 分别为 $10\mu A$ 、 $20\mu A$ 、 $30\mu A$ ，调节 R_{W2} 使 U_{CE} 如表 1-5 所列之值，在同一个坐标系下，分别做出三条 $I_C = f(U_{CE})|_{I_B=\text{常数}}$ 的(输出)特性曲线，并分析数据。

5. 观察晶体管的三种工作状态

按下图 3 接线，先将 R_{b3} 调节到最小，调节 R_{W1} ，使得三极管工作于临界饱和状态（集电极与基极电位相等），并读取此时集电极电流 I_{CS} (参考值： $I_{CS} < U_{CC}/R_C = 4mA$)和相应的基极电流 I_{BS} 。再调节 R_{b3} ，微调 R_{W1} ，观察 I_B 与 I_C 的关系，分别在 $I_B \geq I_{BS}$ ， $I_B = 0 \sim I_{BS}$ ， $I_B = 0$ 时，测量晶体管在放大、截止、饱和，三种状态下的静态工作点，记录于表 1-6 中。

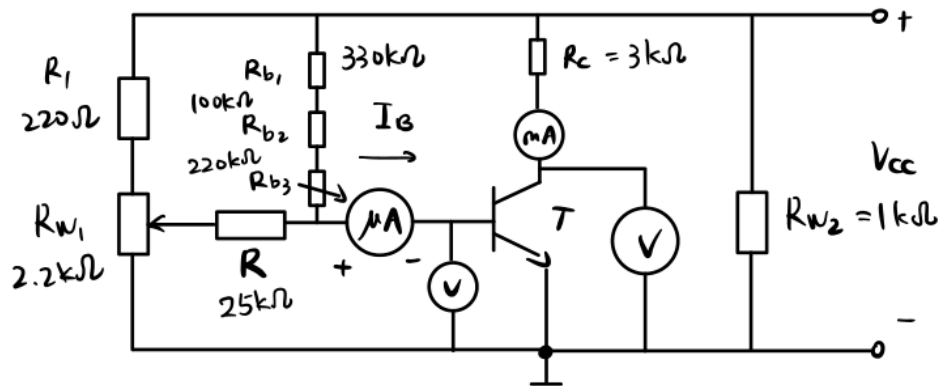


图 3

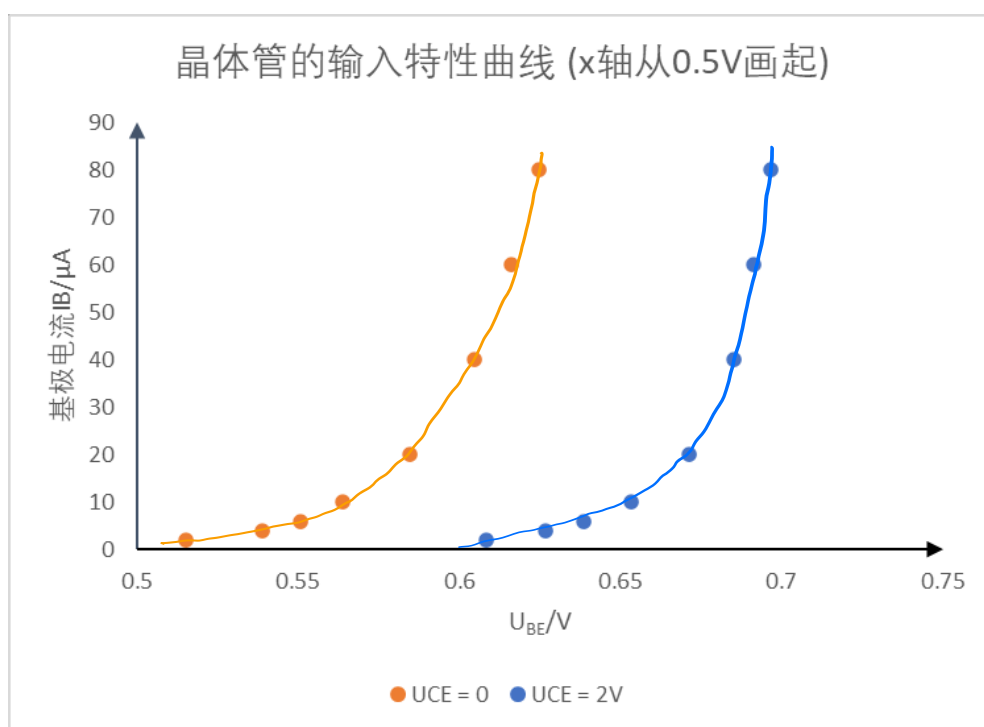
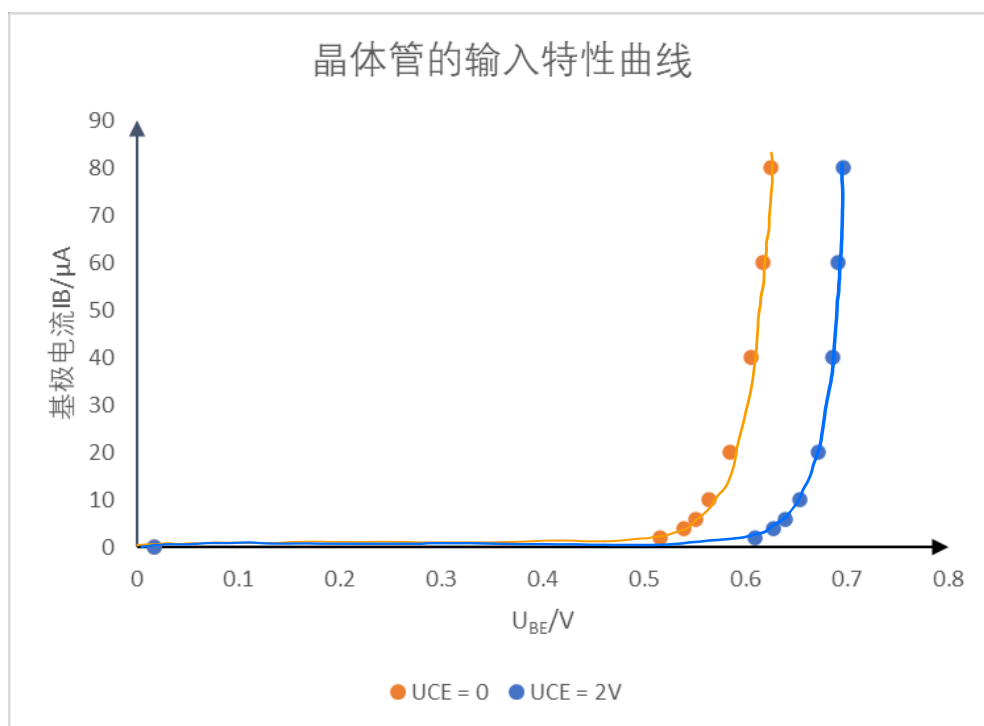
五、实验数据分析

（按指导书中实验报告的要求用图表或曲线对实验数据进行分析处理，并对实验结果做出判断，如需绘制曲线请在坐标纸中进行）

1、由实验数据表 1-4，做出 $I_B = f(U_{BE})|_{U_{CE}=0}$ 和 $I_B = f(U_{BE})|_{U_{CE}=2V}$ 特性曲线，并分析差别的原因。

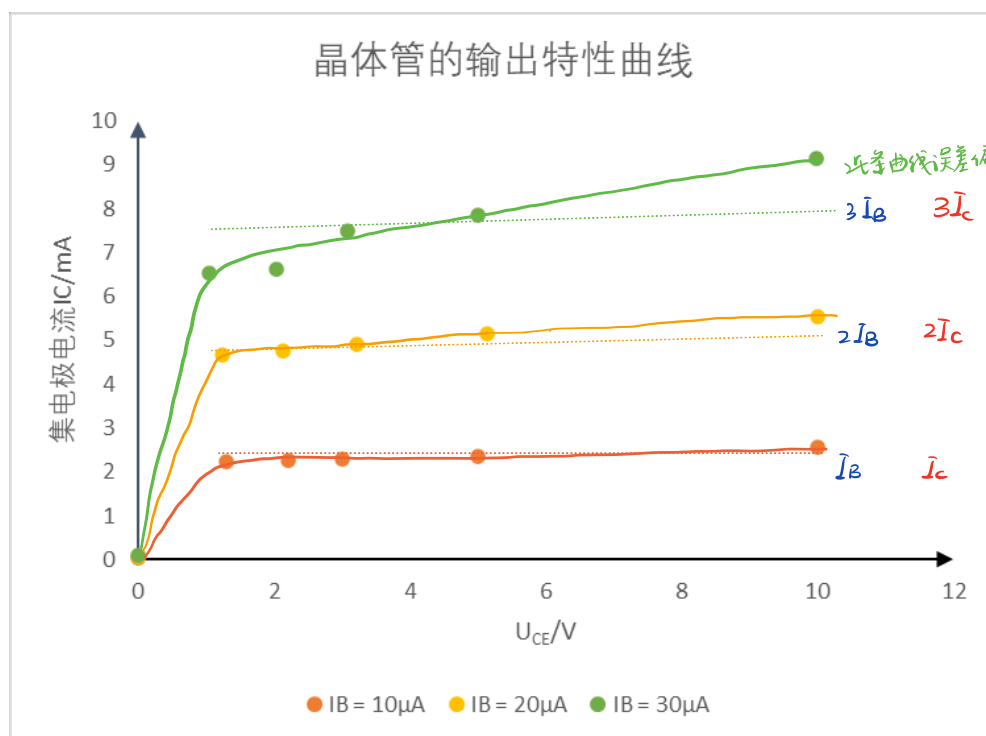
特性曲线如下面两张图所示。其中绘制散点采用 Excel，图线为手绘。将图线 x 轴从 $0.5V$ 画起是为了便于观察当 $U_{CE}=2V$ 时图线相对于 $U_{CE}=0$ 时图线的右移。

可以看出， $U_{CE}=2V$ 时图线相对于 $U_{CE}=0$ 时，图线右移。原因是：由发射区注入基区的非平衡少数载流子有一部分越过基区和集电结形成集电极电流 i_C ，使得在基区参与复合运动的非平衡少数载流子随 U_{CE} 的增大而减小。因此，要获得同样的 I_B ，就必须增加 U_{BE} ，使发射区向基区注入更多的电子。



2、由实验数据表 1-5，在同一个坐标系下，分别做出三条 $I_C=f(U_{CE})|_{I_B=\text{常数}}$ 的特性曲线，并分析曲线的原因。

此处采用 Excel 绘出散点，再手绘图线的方式。（Excel 绘制散点精确且方便，但是 Excel 自带的平滑线对于数据趋势的拟合不恰当，所以采用手工绘制图线以便突出规律性。）



图线的规律是： U_{CE} 较小时，集电极电流随 U_{CE} 增大呈线性增长；当 U_{CE} 较大时，集电极电流随 U_{CE} 的变化不显著，而基本只与 I_B 有关，且发现 I_B 增长一定倍数时， I_C 也增长对应的倍数，说明 U_{CE} 较大时， I_C 与 I_B 成正比关系。

六、问题思考

（回答指导书中的思考题）

1. 根据表 1-5 的数据，取 $U_{CE}=5V$ 时的实验数据，求晶体管的 β 值。

答： $I_B = 10\mu A$ 时， $I_C = 2.3644mA$ ， $\beta = \frac{I_C}{I_B} = 236.44$ ；

$I_B = 20\mu A$ 时， $I_C = 5.1374mA$ ， $\beta = \frac{I_C}{I_B} = 256.87$

$I_B = 30\mu A$ 时， $I_C = 7.8420mA$ ， $\beta = \frac{I_C}{I_B} = 261.4$ 。

取平均值得： $\bar{\beta} = 251.57$ 。

2. 由实验步骤 4 和 5 所得结果，总结晶体管 3 个工作区域的特征，并且如何根据 U_{CE} 的数值判断晶体管的工作状态？

答：

第一问：①放大区的特点：发射结正偏、集电结反偏，即 $U_{CE} > U_{BE} > 0.6V$ (开启电压)；集电极电流随基极电流基本呈线性变化。②饱和区的特点：基极电流较大，大于基极饱和电流 I_{BS} ；发射结正偏、集电结正偏，即 $U_{CE} < U_{BE}, U_{BE} > 0.6V \sim 0.65V$ (开启电压)；随基极电流增大，集电极电流变化变缓，以至变化很不明显（基本不变）；深度饱和时（即 I_B 从饱和电流增大较多后），管压降 U_{CE} 基本稳定为 $0.1V-0.3V$ 左右。③截止区的特点：基极电流、集电极电流都为 0 或接近 0；发射结反偏、集电结反偏，即 U_{CE} 很大,接近 V_{CC} ； U_{BE} 接近 $0V$ 。

第二问： U_{CE} 很大,接近 V_{CC} 时，晶体管工作在**截止区**； U_{CE} 稳定为 $0.1V-0.3V$ 时，晶体管工作在**饱和区**； U_{CE} 明显超过开启电压（ $0.65V$ 左右），并明显小于 V_{CC} 时，可认为晶体管工作在**放大区**（此处强调“明显”，是为了保证管子不工作在临界饱和或临界截止状态，让管子可靠地工作在放大区）。

七、实验体会与建议

1. 一定要细致耐心。确保接线无误后再上电。
2. 实验前要做好预习，用好视频资源。