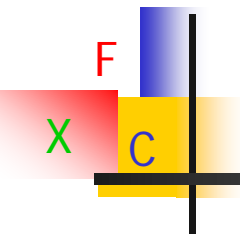


三极管特性测量-见FTP和实验5 中的“整流电路 实验研究” 内容P278



浙江大学电工电子教学中心
傅晓程

桌号请写在实验**地点**后

例如，**地点**：东3 - 2XX A1

本次实验**无需**验收。

本次**需**提交实验报告。



实验目的

- 1、深入理解三极管直流偏置电路的结构和工作原理。
- 2、深入理解和掌握三极管输入、输出伏安特性。
- 3、加深理解二极管单向导电特性。
- 4、学习二极管在整流电路中的工作特性。
- 5、**选做**学习二极管在倍压整流电路中应用。



实验任务

1、9013晶体三极管的判断测量

2、9013反相器 — 电子开关。

3、9013输出伏安特性的测量

选做4、9013输入伏安特性的测量

选做5、半波整流电路（输出分别接电阻、电容以及电阻电容并联）---示波器观察输入输出波形，测量相关参数。

6、全波整流电路（输出分别接电阻、电容以及电阻电容并联）--示波器观察输入输出波形，测量相关参数。

注意1：任何器件都有极限指标，如三极管的电压、电流、功率，电阻功率等；实验时，不要过于强调实验结果的准确性。

注意2：示波器的共地、电解电容的极性！

注意3：电流需间接测量！



三极管的主要参数

- ◆ P_{CM} : 集电极最大允许功率损耗。
- ◆ I_{CM} : 集电极最大允许电流。
- ◆ T_{jM} : 最大允许结温。
- ◆ R_T : 热阻。
- ◆ V_{CEO} : 第三电极基极开路时集电极—发射极之间的电压。
- ◆ V_{CBO} : 第三电极基极开路时集电极—基极之间的电压。
- ◆ V_{EBO} : 第三电极基极开路时发射极—基极之间的电压。
- ◆ V_{BEon} : 基极—集电极开路电压。
- ◆ V_{CEsat} : 集电极—发射极之间的饱和压降。
- ◆ V_{BEsat} : 基极—发射极之间的饱和压降。
- ◆ I_{CBO} : 发射极开路, CB(集电结)之间的反向饱和电流。
- ◆ I_{EBO} : 发射极开路, EB之间的反向饱和电流。
- ◆ h_{FE} : 共发射极接法短路电流放大系数, 也称直流 β 。

Electrical Characteristics @ 25°C Unless Otherwise Specified

S9013

TO-92

OFF CHARACTERISTICS

$V_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C=100\mu A$, $I_E=0$)	40	---	Vdc
$V_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C=0.1mA$, $I_E=0$)	25	---	Vdc
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E=100\mu A$, $I_C=0$)	5.0	---	Vdc
I_{CBO}	Collector Cutoff Current ($V_{CB}=40Vdc$, $I_E=0$)	---	0.1	μA
I_{CEO}	Collector Cutoff Current ($V_{CE}=20Vdc$, $I_E=0$)	---	0.1	μA
I_{EBO}	Emitter Cutoff Current ($V_{EB}=5.0Vdc$, $I_C=0$)	---	0.1	μA

ON CHARACTERISTICS

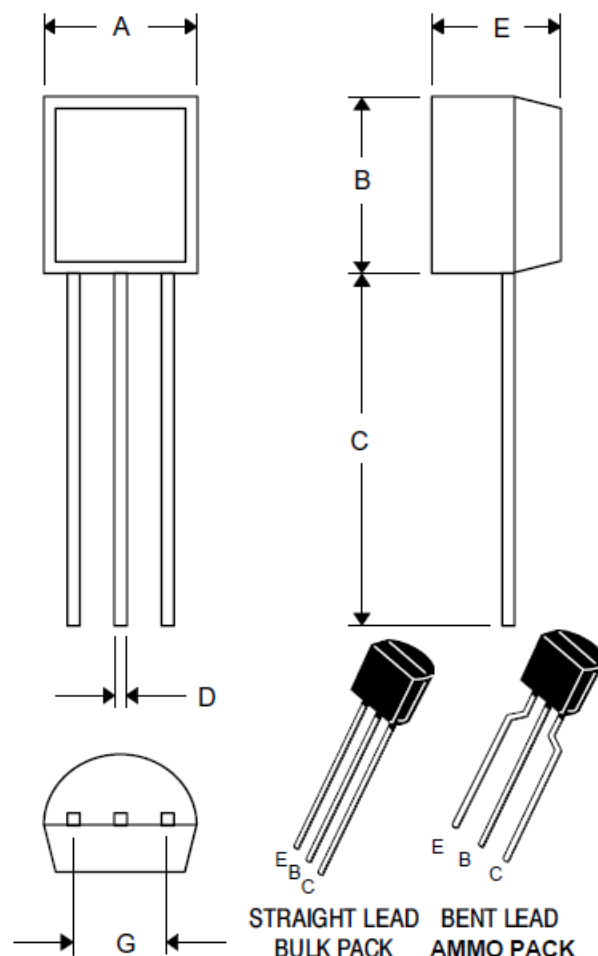
$h_{FE(1)}$	DC Current Gain ($I_C=50mA$, $V_{CE}=1.0Vdc$)	64	400	---
$h_{FE(2)}$	DC Current Gain ($I_C=500mA$, $V_{CE}=1.0Vdc$)	40	---	---
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C=500mA$, $I_B=50mA$)	---	0.6	Vdc
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage ($I_C=500mA$, $I_B=50mA$)	---	1.2	Vdc
V_{EB}	Base-Emitter Voltage ($I_E=100mA$)	---	1.4	Vdc

SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

f_T	Transistor Frequency ($I_C=20mA$, $V_{CE}=6.0Vdc$, $f=30MHz$)	150	---	MHz
-------	--	-----	-----	-----

CLASSIFICATION OF $h_{FE(1)}$

Rank	G	H	I
Range	112-166	144-202	190-300



DIMENSIONS					
DIM	INCHES		MM		NOTE
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	.175	.185	4.45	4.70	
B	.175	.185	4.45	4.70	
C	.500	---	12.70	---	
D	.016	.020	0.41	0.63	
E	.135	.145	3.43	3.68	
G	.095	.105	2.42	2.67	Straight Lead Bent Lead
	.173	.220	4.40	5.60	

* For ammo packing detailed specification, click here to visit our website of product packaging for details.

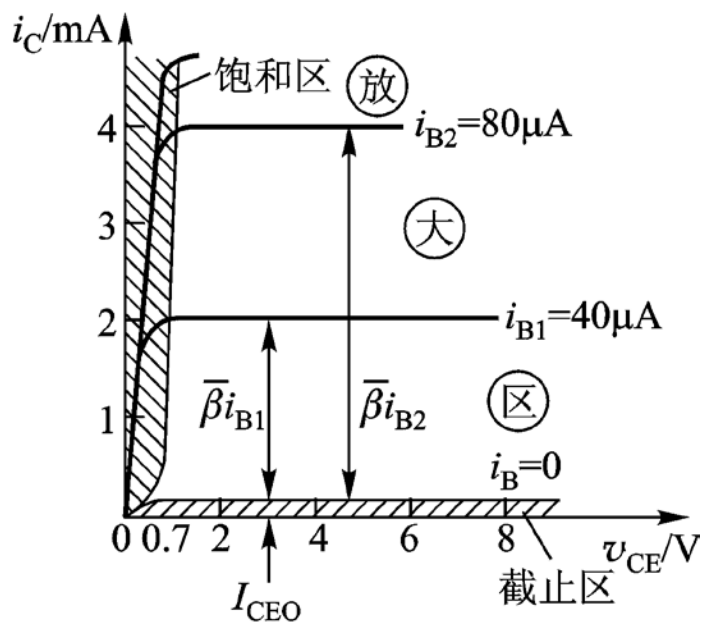
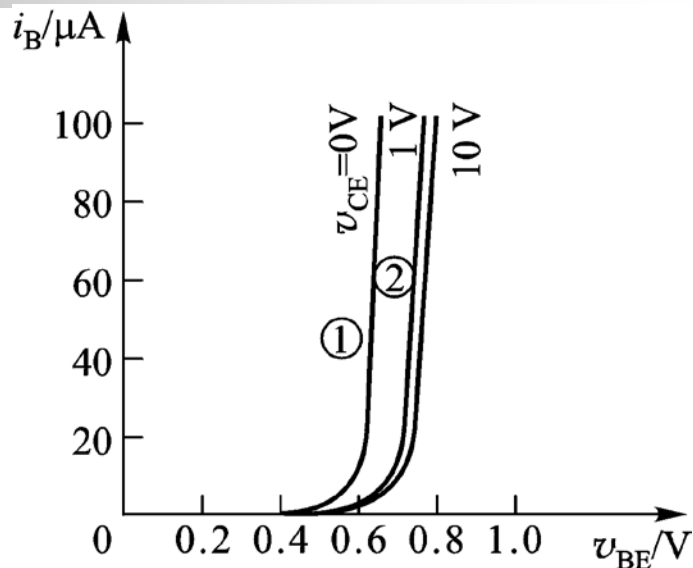
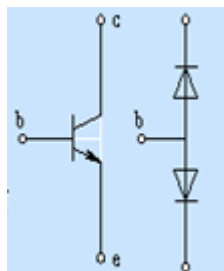
共射极输入特性： $i_B = f(v_{BE}) \Big|_{v_{CE}=C}$

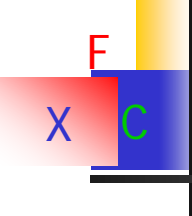
V_{CE} 增长时

$V_{CE} > 1V$ 后

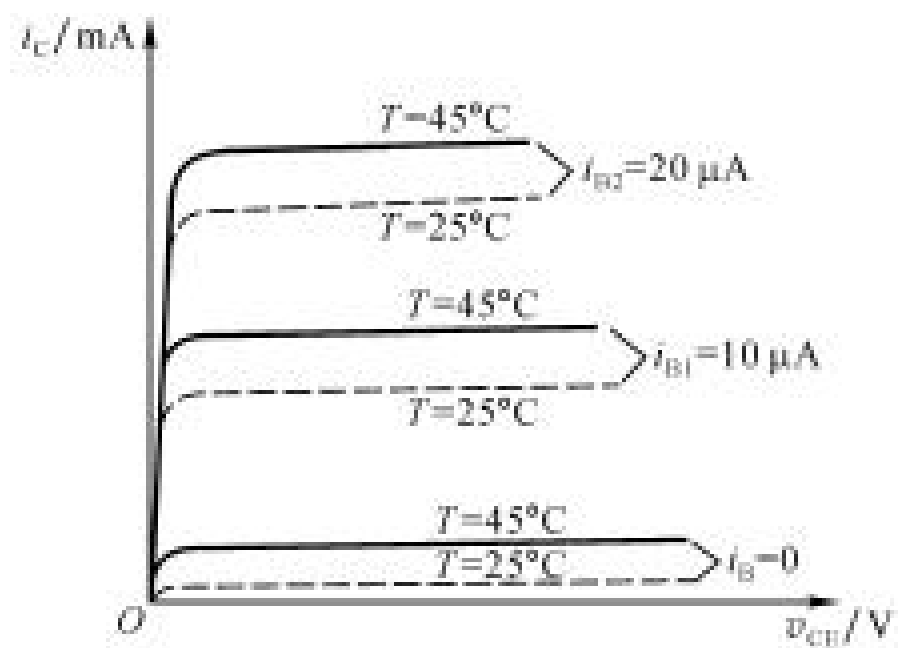
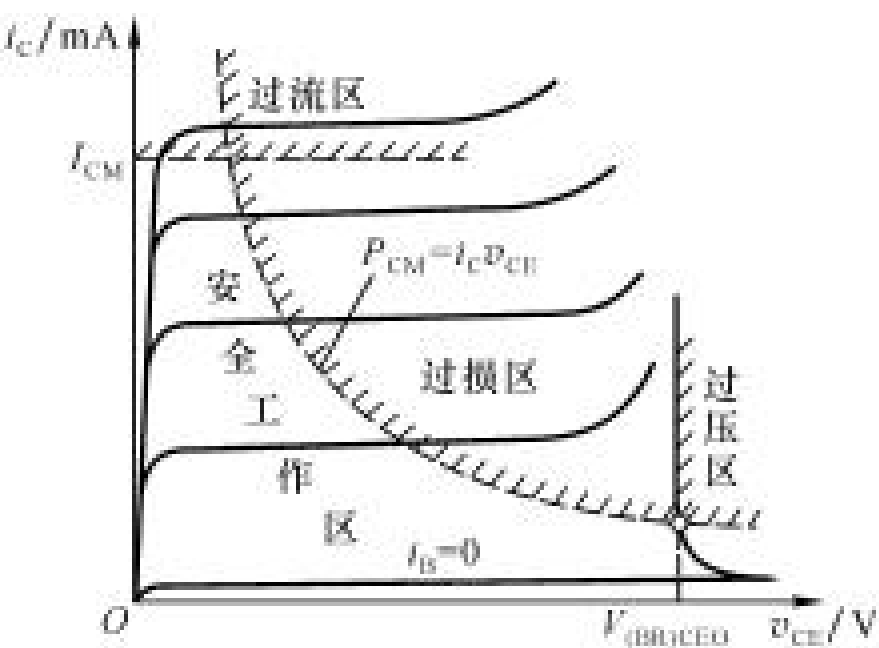
共射极输出特性： $i_C = f(v_{CE})|_{i_B=C}$

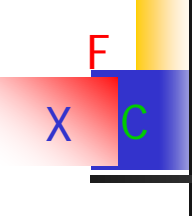
饱和区、放大区、截止区





安全和温度



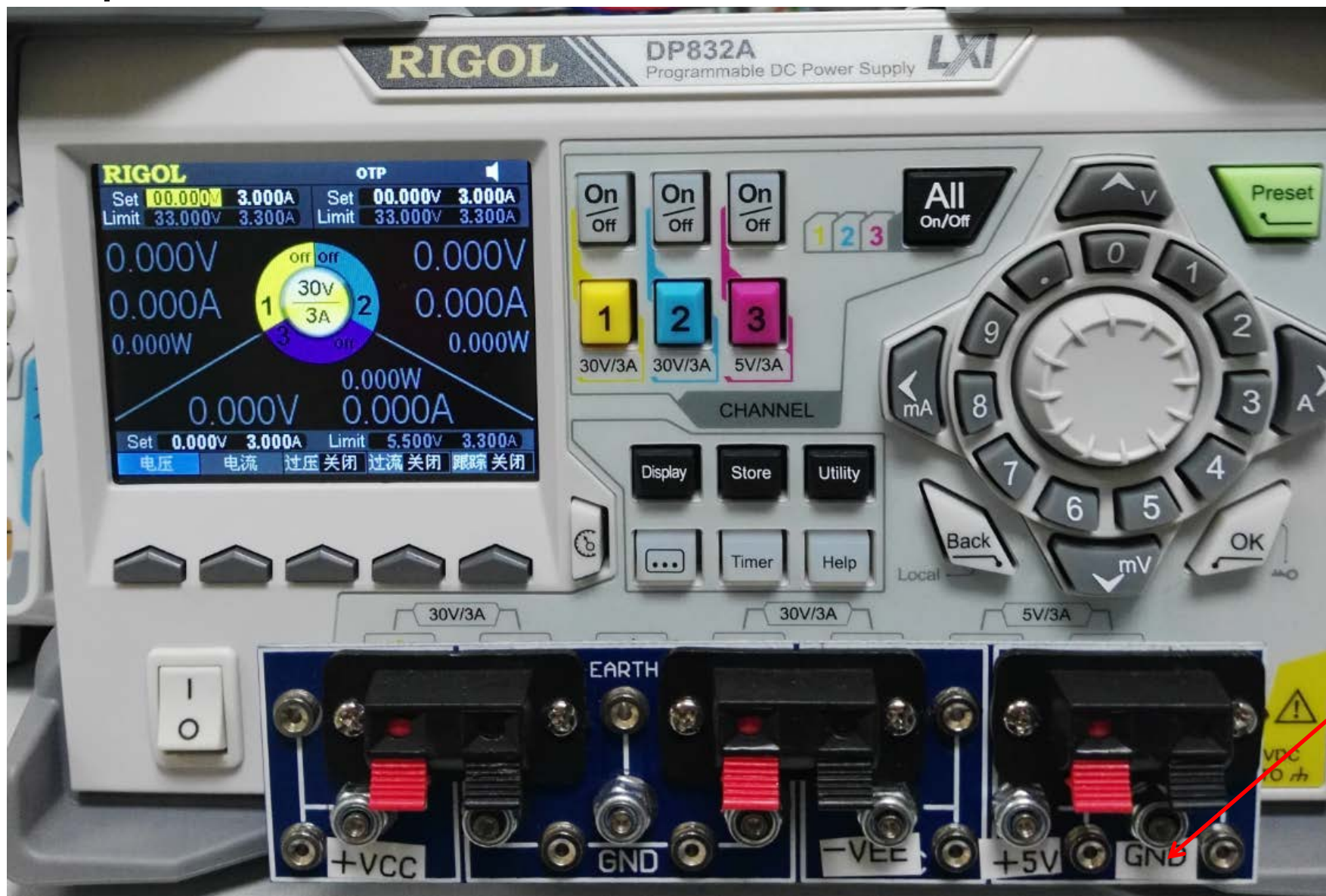


三极管特性测量实验准备工作

- 1、观察是否在U6准确插入NPN型三极管(9013)
- 2、检查万用表、示波器是否正常；用万用表测量实验箱上+15V和+5V，（本次实验COM1和COM2用导线连接好）；或应用稳压电源调节+15V和+5V；用万用表示数为准。
- 3、检查实验箱上“直流信号源”模块上，是否准确插入LM358。
- 4、对两个“直流信号源”模块上接上 $\pm 15V$ ，用万用表测量Vout1和Vout2范围应该约在 $-12V \sim +12V$ 。

注意：连线前请检测器件的参数

Preset(2个GND是不连接在一起的)不要去连接EARTH



电子技术实验箱

力传感器 (700g)

仪用放大器

负载和电流检测

稳压电源电路

AC 220V

-21V/0.5A

-18V/0.5A

-15V/0.5A

-12V/0.5A

-9V/0.5A

-0V

变压器

AC2

DC+

DC-

R5507

1N4007

1N4007

1N4007

1N4007

1000 μ F/50V

1V

0.1 μ F

270

0.1 μ F470 μ F/50V

Q2 LM317

Q3 LM7812

W1

BK

0.1 μ F470 μ F/50V0.1 μ F

直流电源

+5V/1A

COM1

-5V/1A

+15V/1A

COM2

-15V/1A

直流信号源

W

R5

R6

U_{o1}

LM358

U_o

R7

R8

U_{o2}

COM2

W

R5

R6

U_{o1}

LM358

U_o

R7

R8

U_{o2}

COM2

W

R5

R6

U_{o1}

LM358

U_o

R7

R8

U_{o2}

COM2

W

R5

R6

U_{o1}

运放基本电路

0.2 μ F

滤波器电路

0.1 μ F

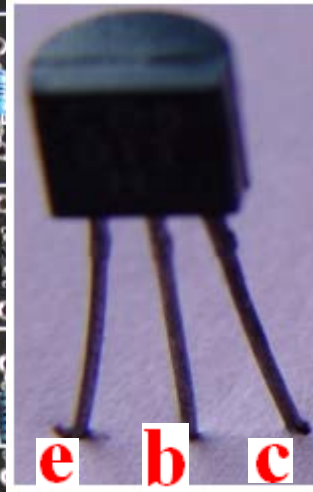
共射放大电路

W_bR_a 5.1KU_sU_i22 μ FR_{b1} 47KR_{b2} 10KR_c 10KR_e 1KC_e 22 μ FQ₁ D682U_oR_L 1KC_L 22 μ FR₁ 1KR₂ 1KR₃ 1KR₄ 1KR₅ 1KR₆ 1KR₇ 1KR₈ 1K

运放指标测试电路

光耦合电路

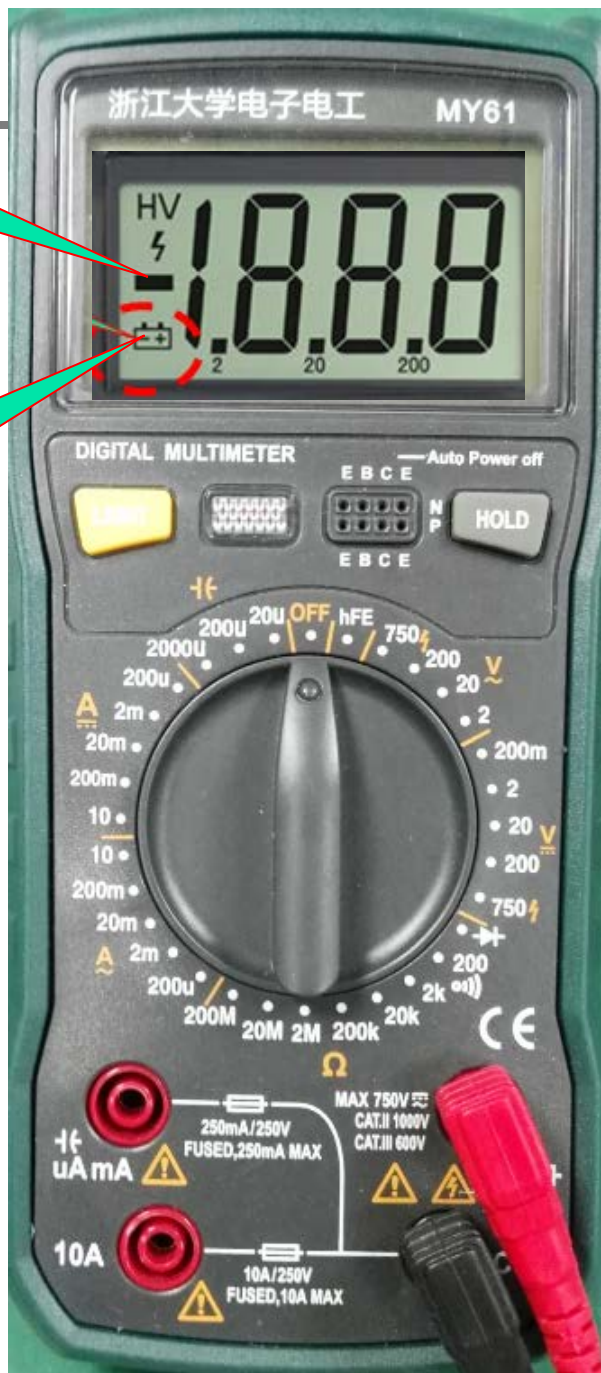
电压比较器电路



X

-指负数

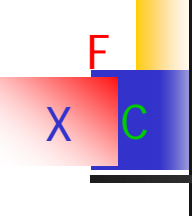
电池电量不足，
需要更换



万用表使用
完毕，
请关闭电
源放回原
处！

示波器Scale大小调节





注意：Uout1和Uout2输出端带载电流控制在10mA以内。如果电流超出10几mA以上，则需要稳压电源来调试。

1、晶体三极管的判断测量

上NPN
下PNP

(1) 用万用表的 \blacktriangle 档判别出任意一个三极管的基极 b。
判别该三极管的类型(Si管、Ge管, NPN管、PNP管)。

(2) 用万用表的 h_{FE} 档测出任意一个三极管的直流电流放大系数 β (即 h_{FE})。判别出该三极管的发射极 e、集电极 c。

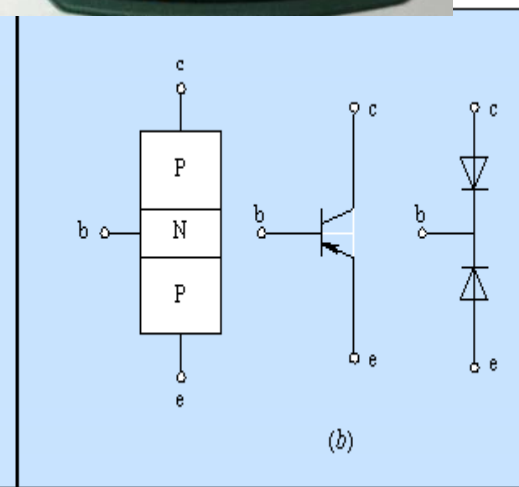
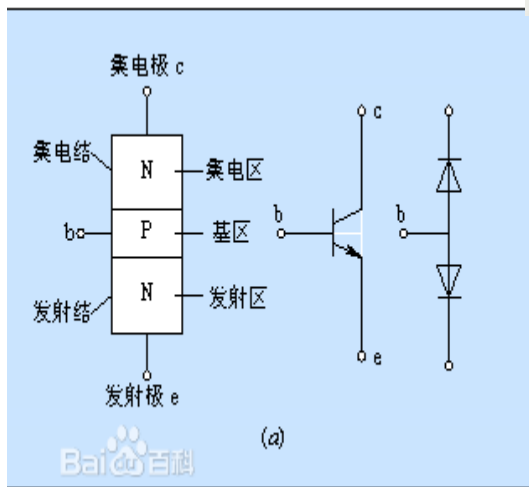
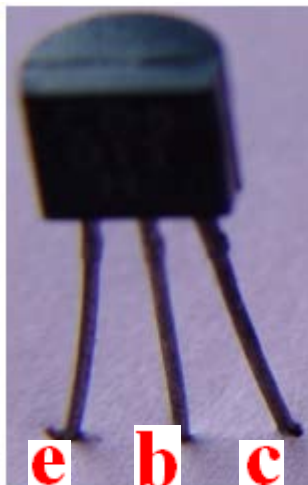
(注意 : 放大工作状态为 250 , 倒置工作状态为 10 , 截止、饱和状态下见反相电子开关实验)。

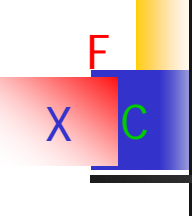
对二极管档正向测量指二极管导通电压、反向OL开路。

三极管型号及管脚排列

9013——NPN管

9012——PNP管





2、反相器 — 电子开关

2 个直流电压源的作用：

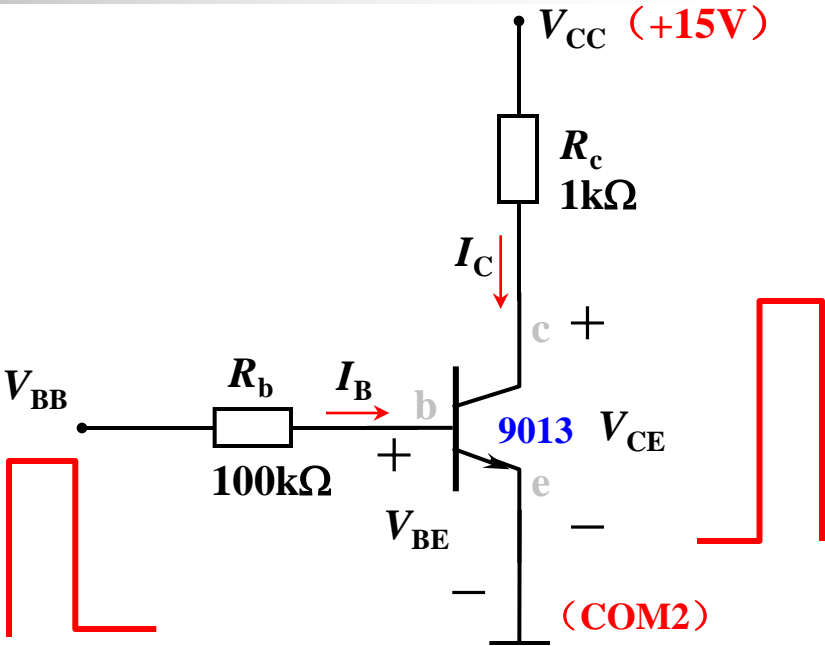
V_{BB} — 基极偏置电源（或 供电电源）。

V_{CC} — 集电极偏置电源（或 供电电源）。

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_b}$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_c}$$

$$\beta \approx I_C / I_B$$



测试条件	实测值				
	$V_{BE}(\text{V})$	$I_B(\mu\text{A})$	$V_{CE}(\text{V})$	$I_C(\text{mA})$	$\bar{\beta}$ (即 h_{FE})
$V_{BB}=0\text{V}$?
$V_{BB}=+15\text{V}$?

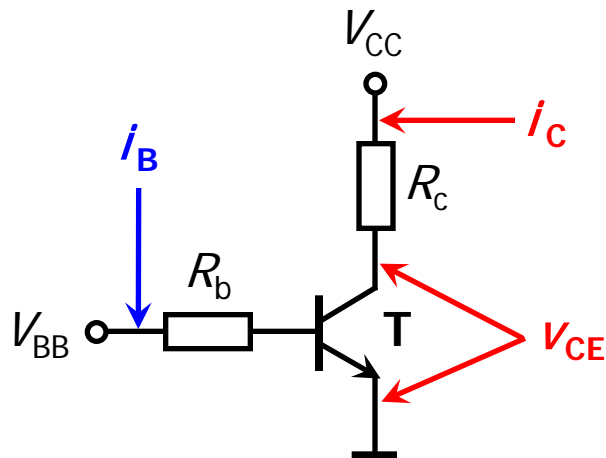
注意：截止、饱和状态下的元件参数、测试条件及其参数。

3、输出伏安特性的测量

实验目标： $i_C = f(v_{CE})|_{i_B=C}$

需要测量的参数： v_{CE} i_C

需要控制的参数： i_B



(三个参数同时测量，需要三个万用表)

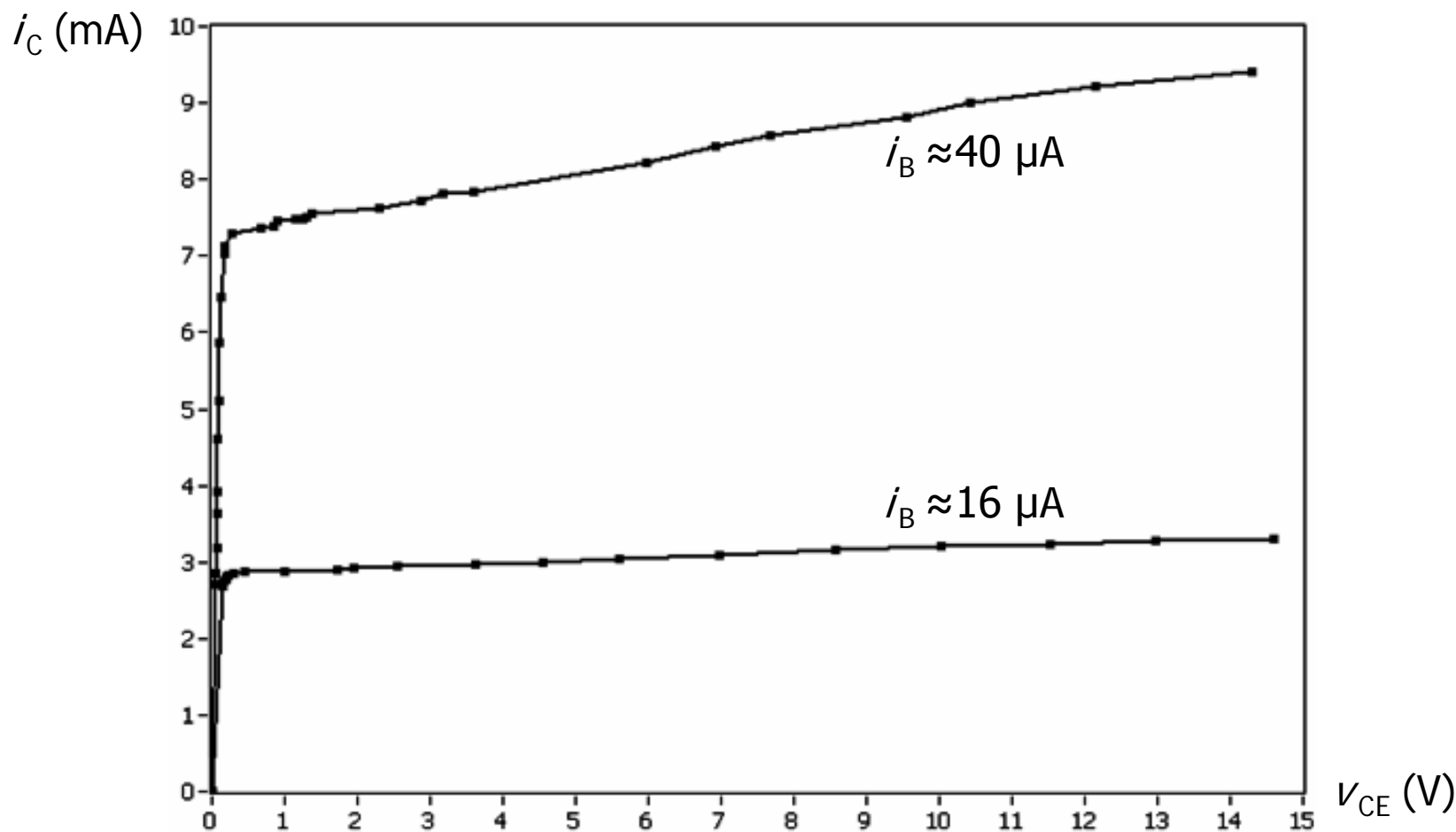
要求测量并绘制1~2条曲线（根据不同的 I_B ）。

注意：实际测 20uA比较好

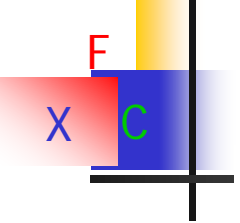
问题1：针对参考的输出伏安特性测量电路，元器件参数应该怎样设置？
基极和集电极电压应该怎样选取？

实际测量时集电极50欧姆，基极电阻100K

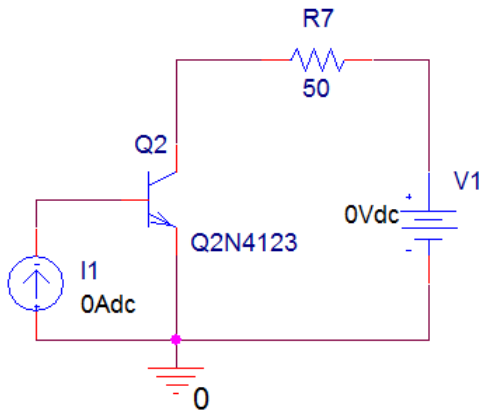
➤ 输出伏安特性测量效果



问题2：从输出伏安特性曲线中可获得三极管的哪些参数？



仿真时集电极电阻50欧姆时，电源电压0~15变化



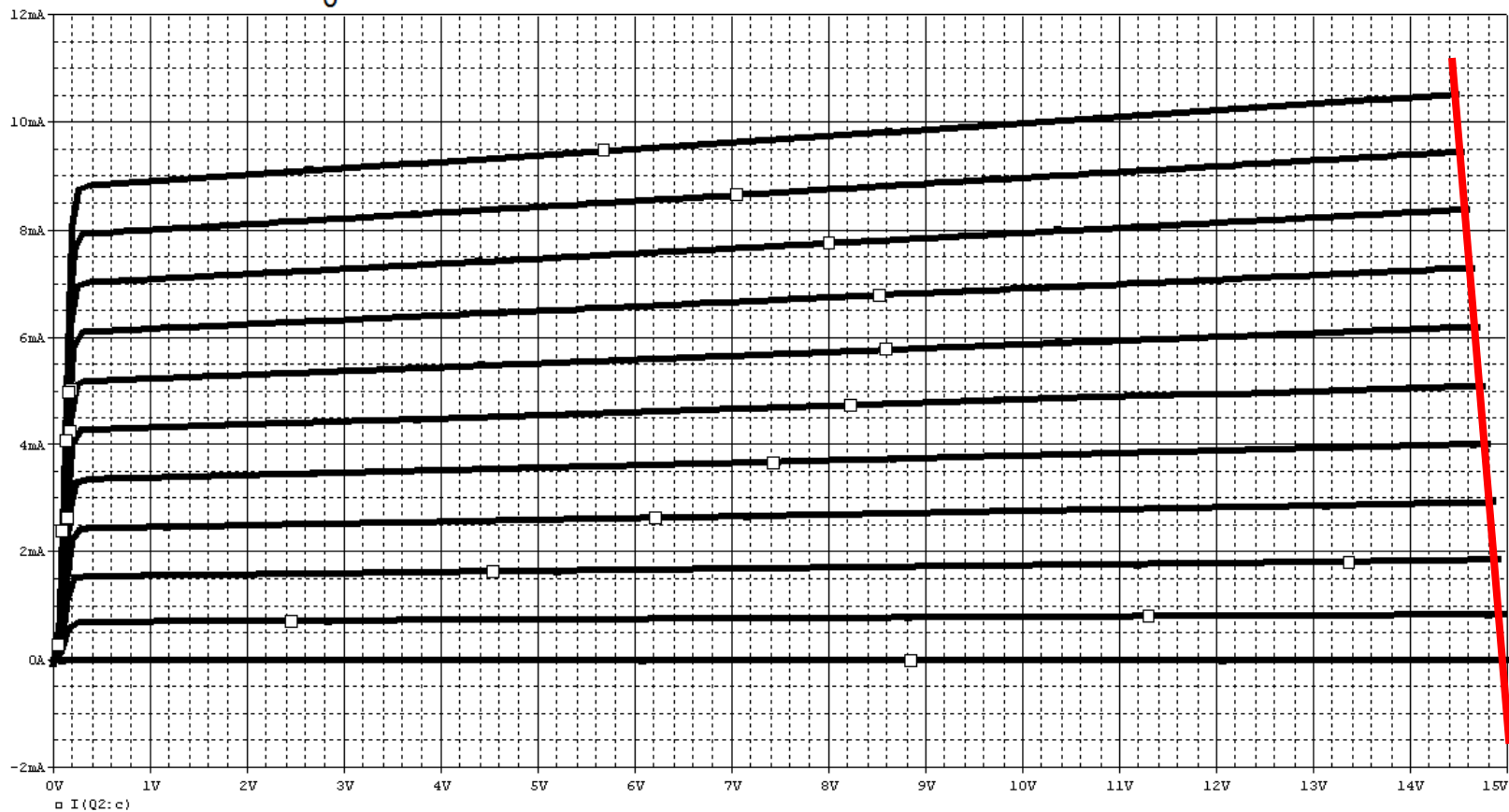
基极电流设定

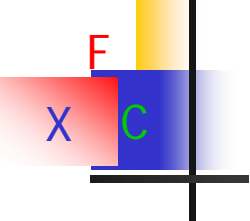
Sweep type

☒ Linear Start value: 0

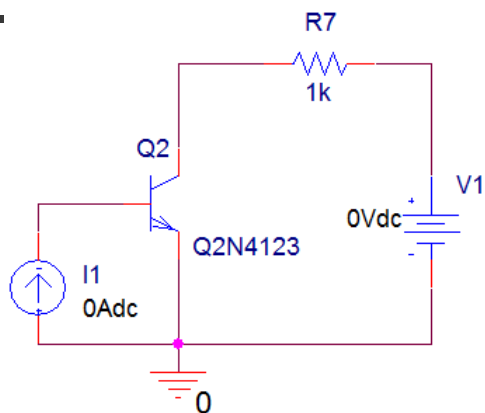
☐ Logarithmic Decade End value: 100ua

☐ Value list Increment: 10ua





仿真时集电极电阻1K时，电源电压0~15变化



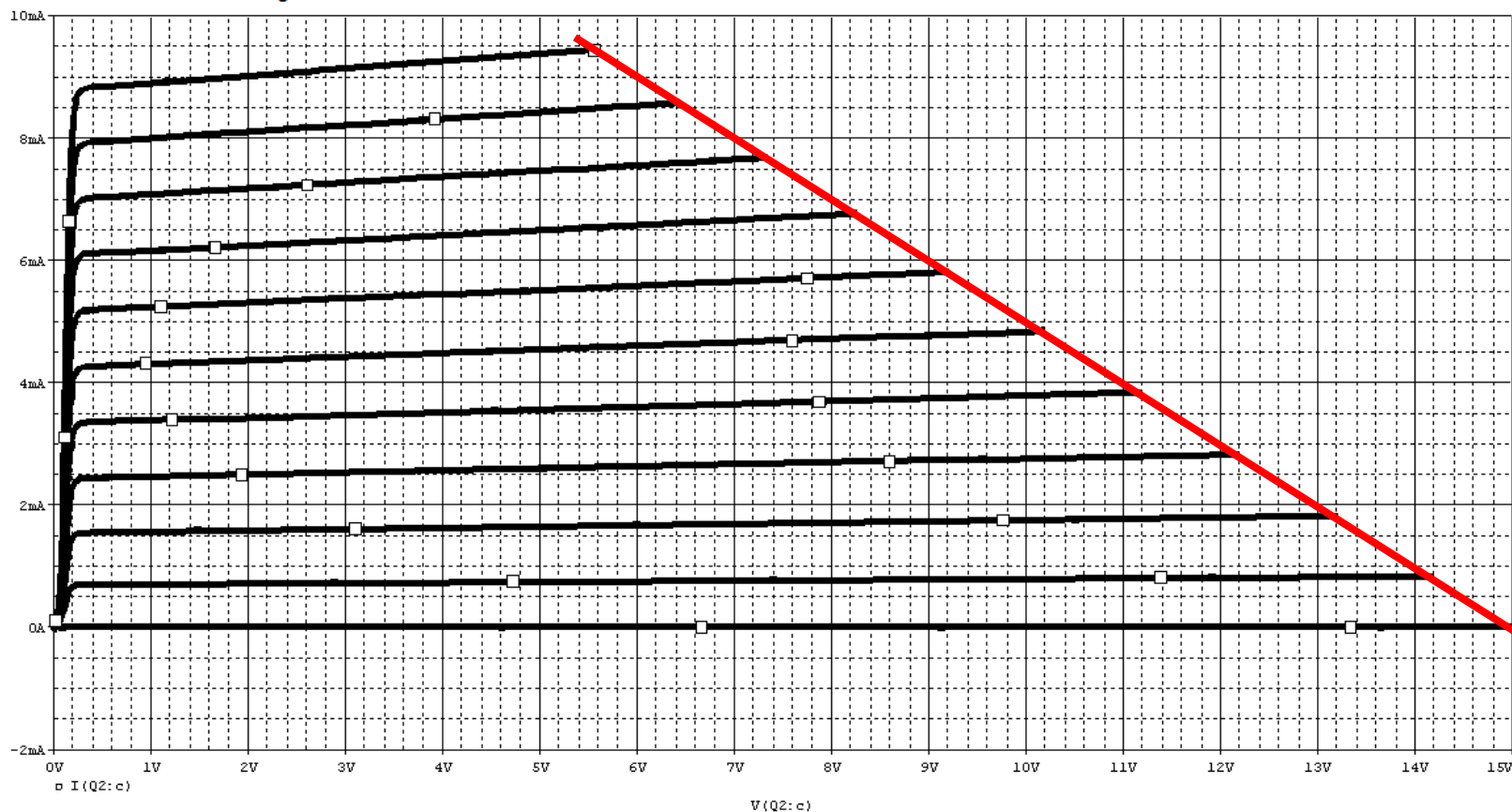
基极电流设定

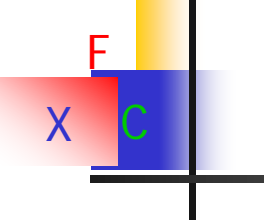
Sweep type

☒ Linear Start value: 0 End value: 100ua Increment: 10ua

☐ Logarithmic Decade Value list:

☐ Value list:

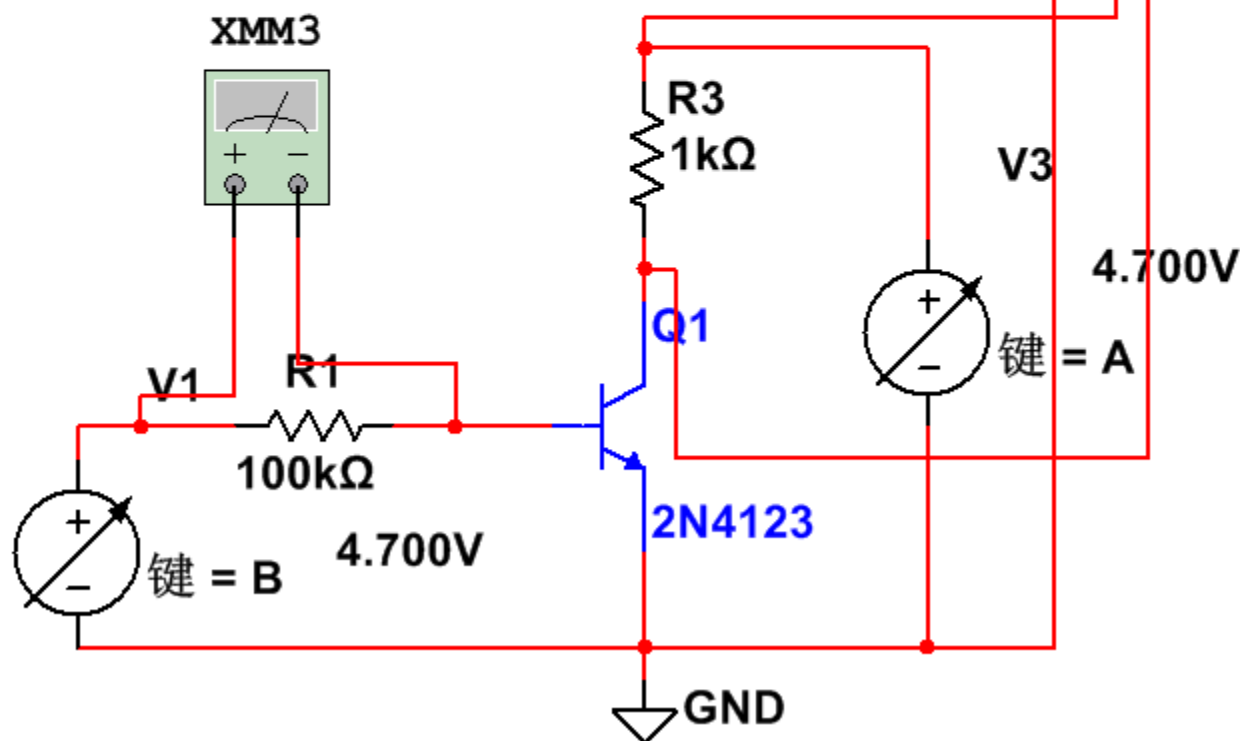




参考测量电路：如果集电极电阻1K，建议基极电流选择20uA

$$i_C = f(u_{CE}) \Big|_{I_B = \text{常数}}$$

该示波器平均值是指屏幕上图形的**平均值**



示波器**直流耦合**

R3修改为50欧姆
与上页曲线可相近

选做4、输入伏安特性的测量

实验目标： $i_B = f(v_{BE}) \Big|_{v_{CE}=C}$

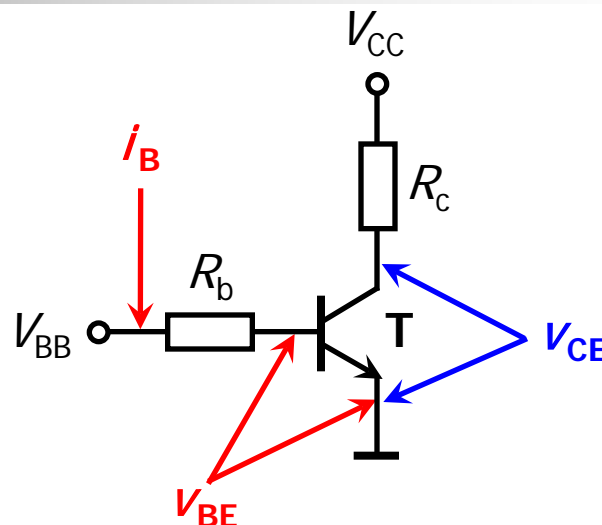
需要测量的参数： v_{BE} i_B

需要控制的参数： v_{CE}

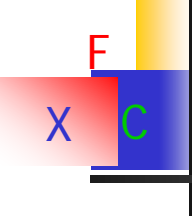
(三个参数同时测量，需要三个万用表)

要求测量并绘制1~2条曲线：

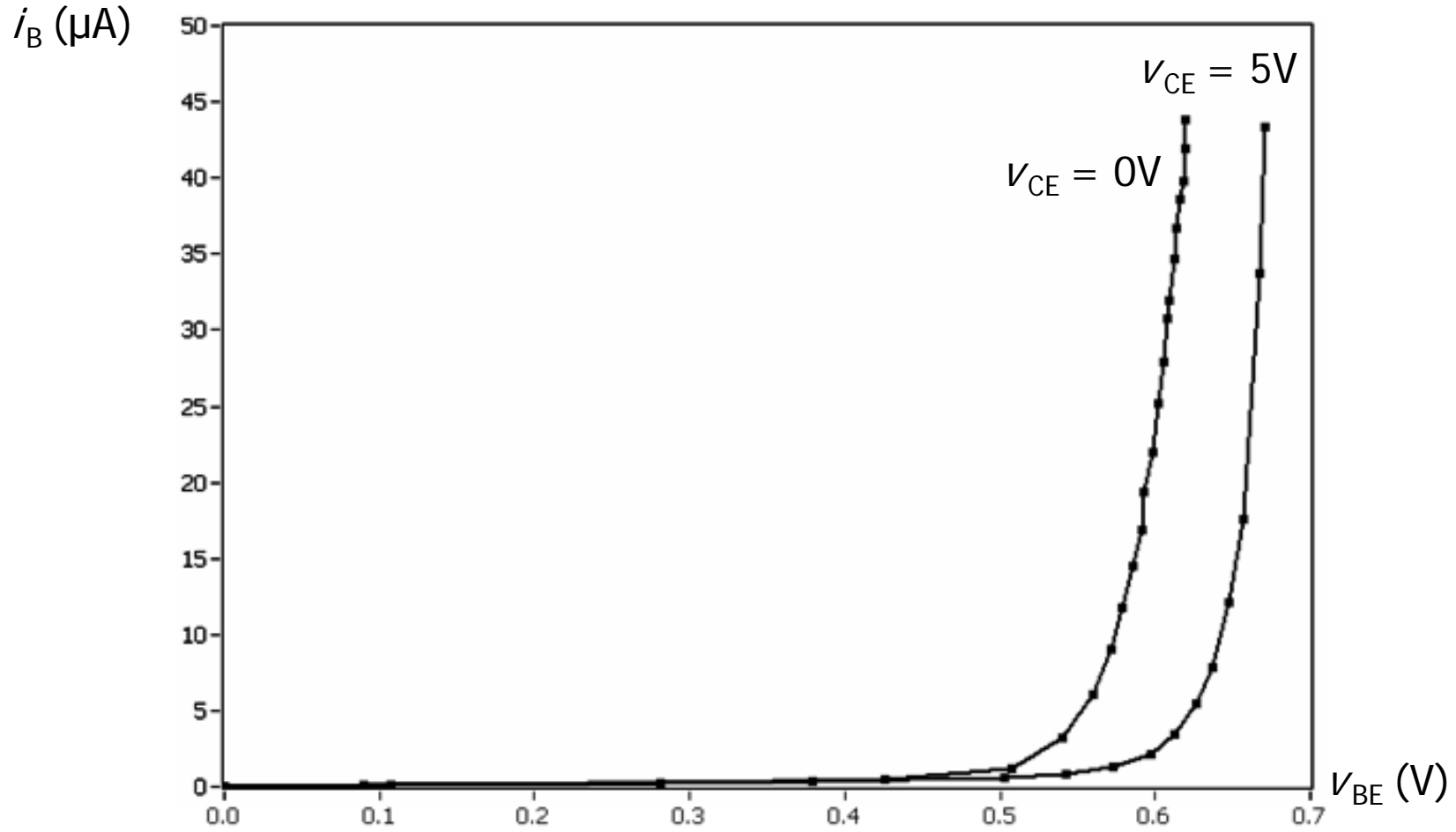
$V_{CE} < 1V$ (例：0V)、 $V_{CE} > 1V$ (例：5V)。



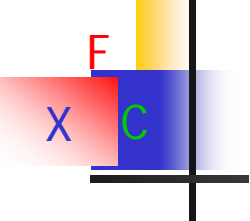
问题3：针对参考的输入伏安特性测量电路，元器件参数应该怎样设置？基极和集电极电压应该怎样选取？



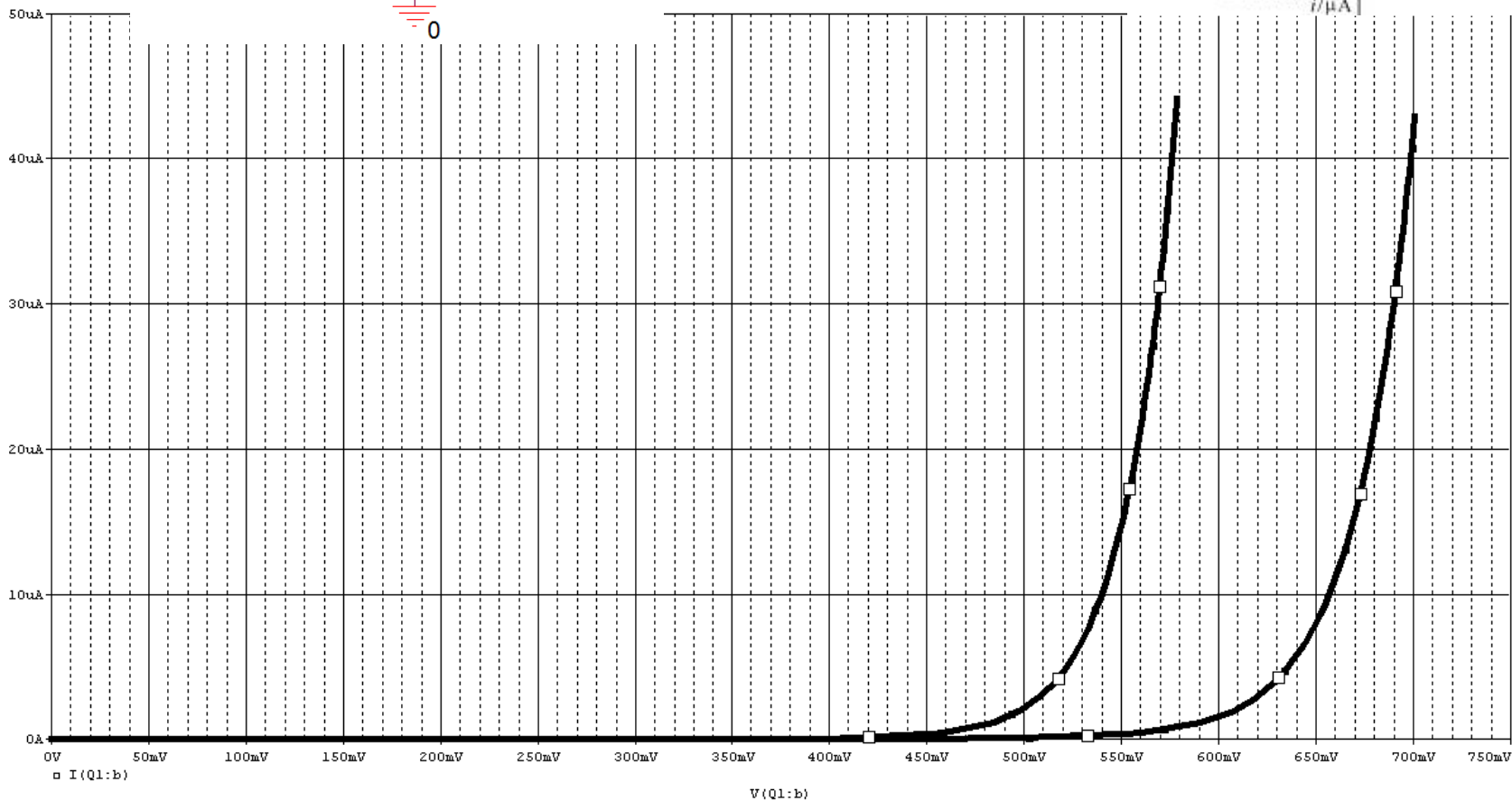
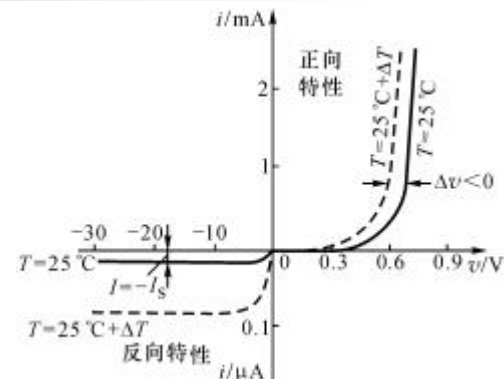
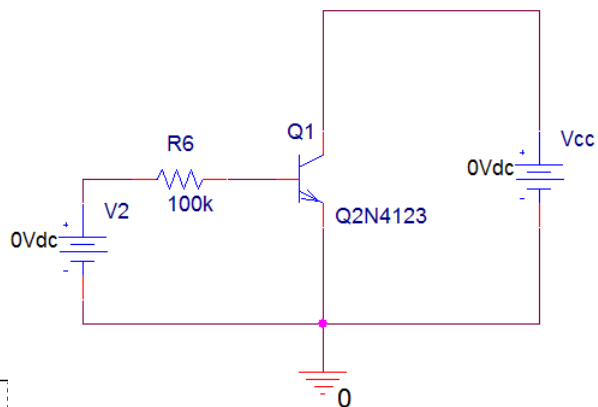
输入伏安特性测量效果

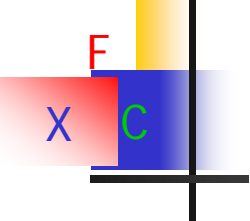


问题4：从输入伏安特性曲线中可获得三极管的哪些参数？



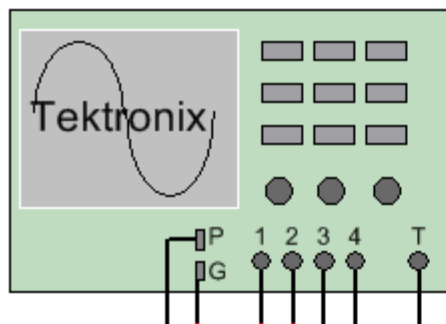
VCC电压设定为0和5V，V2电压0~5变化





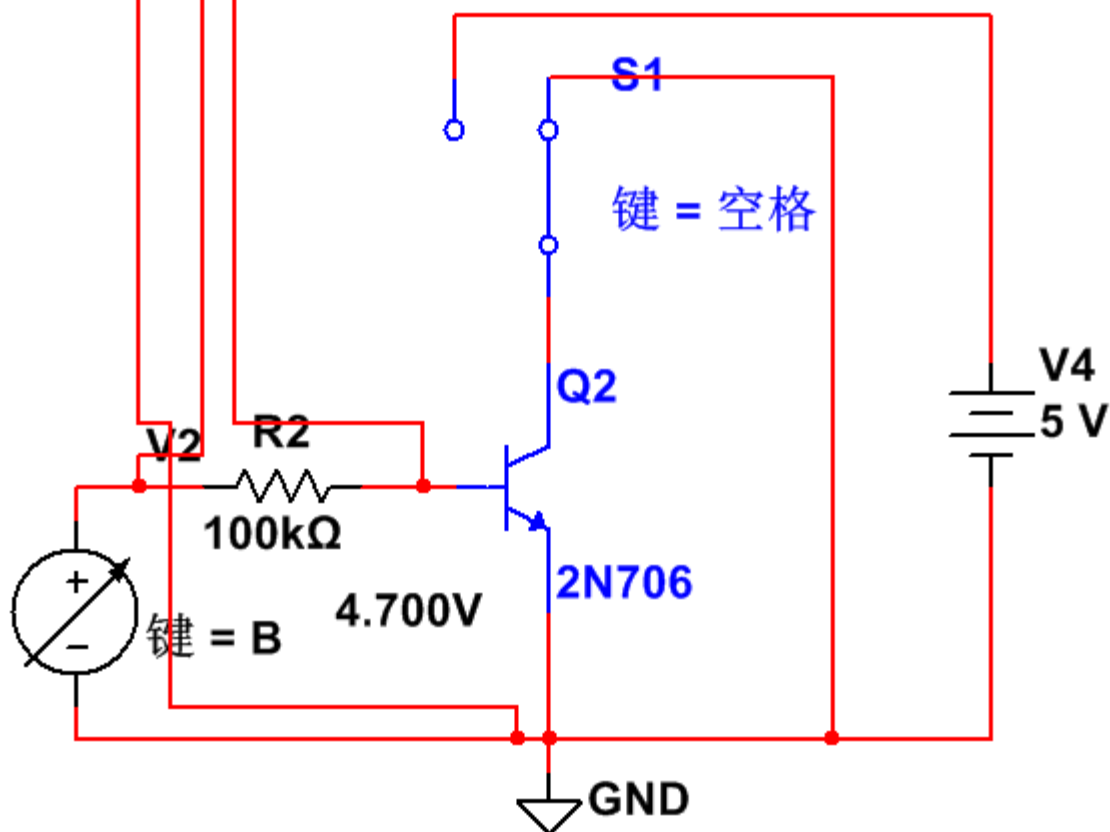
选做参考测量电路：输入特性测量参考电路

XSC2




示波器直流耦合

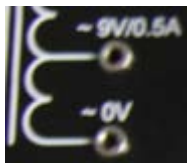
$$i_B = f(u_{BE}) \Big|_{U_{CE} = \text{常数}}$$



整流电路实验准备工作

1、用万用表的  档，判断4个1N4007二极管的正负极性，以及测量其导通电压。

2、用万用表**交流档**测量测量

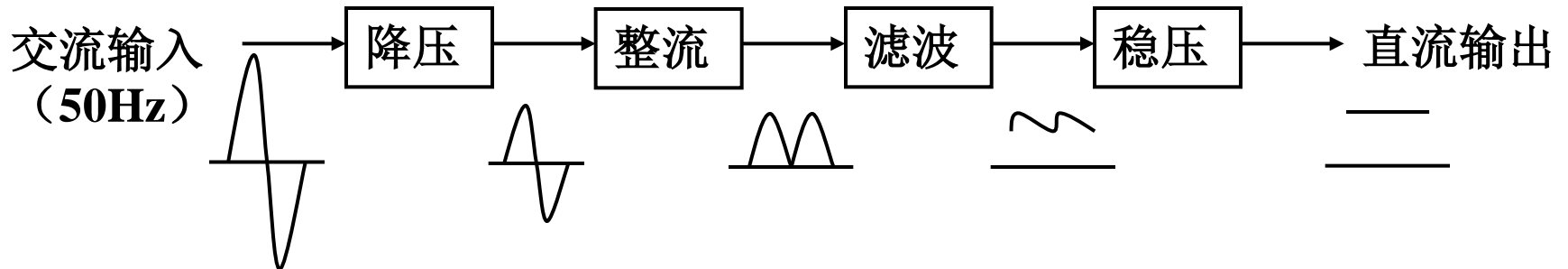
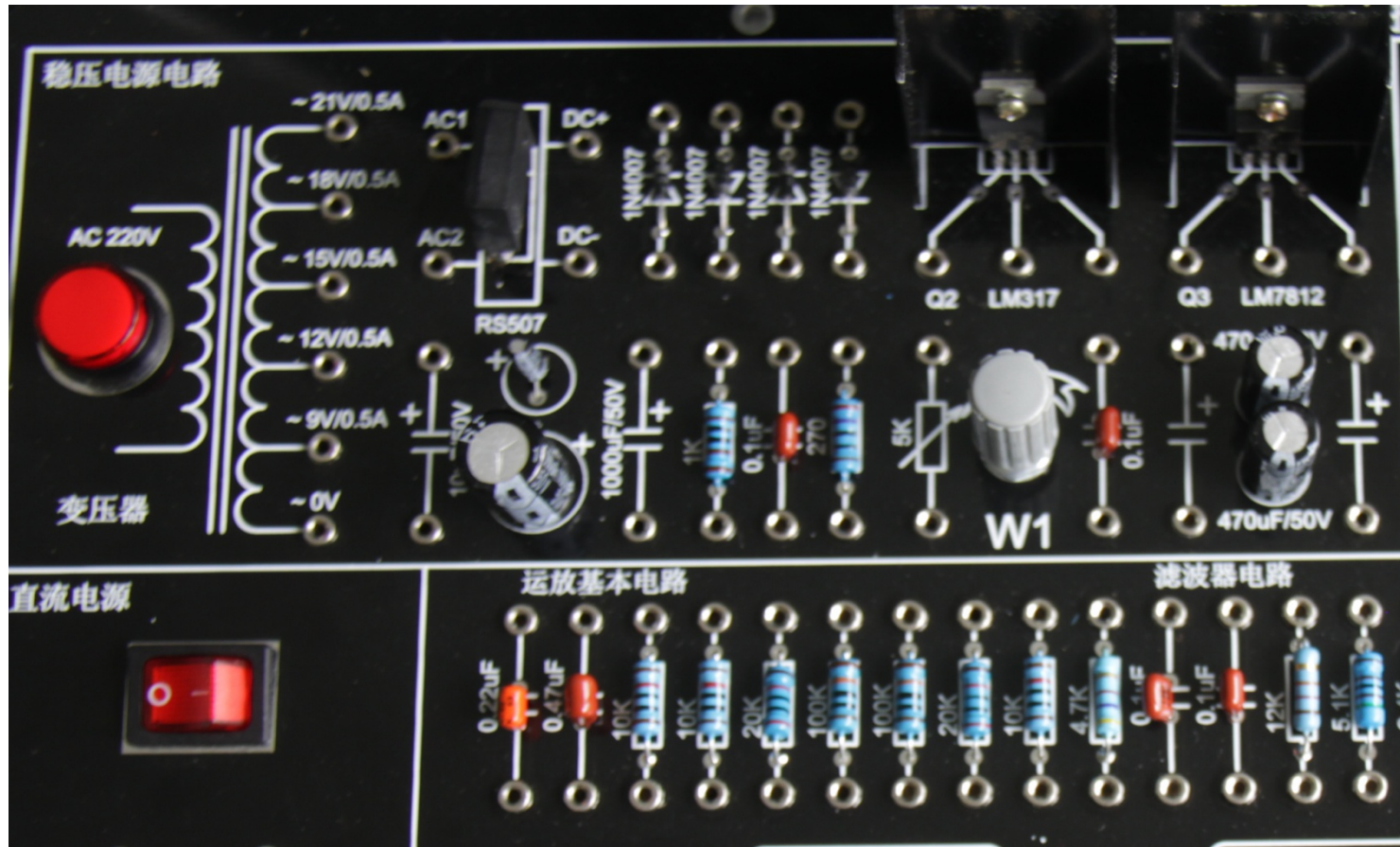


3、检查实验箱上“直流信号源”模块上，是否准确插入LM358。

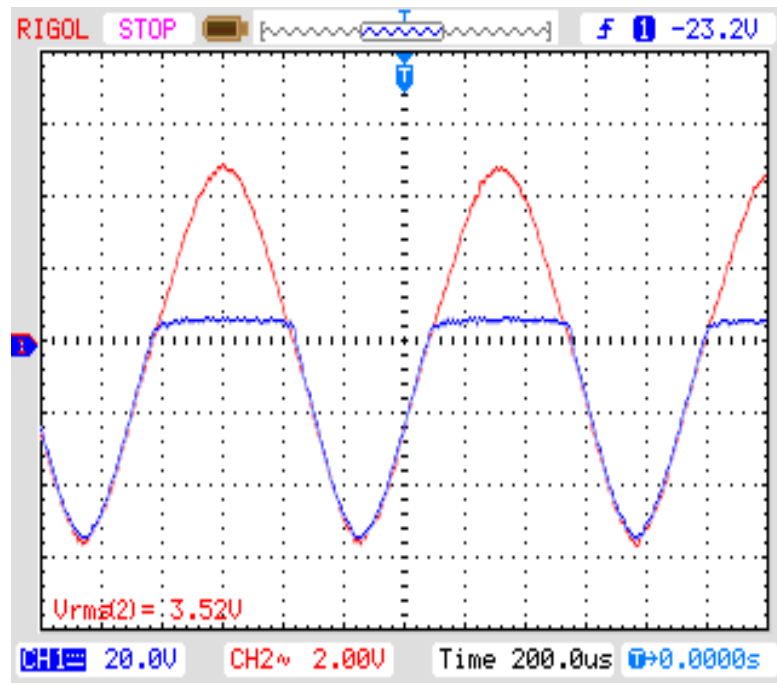
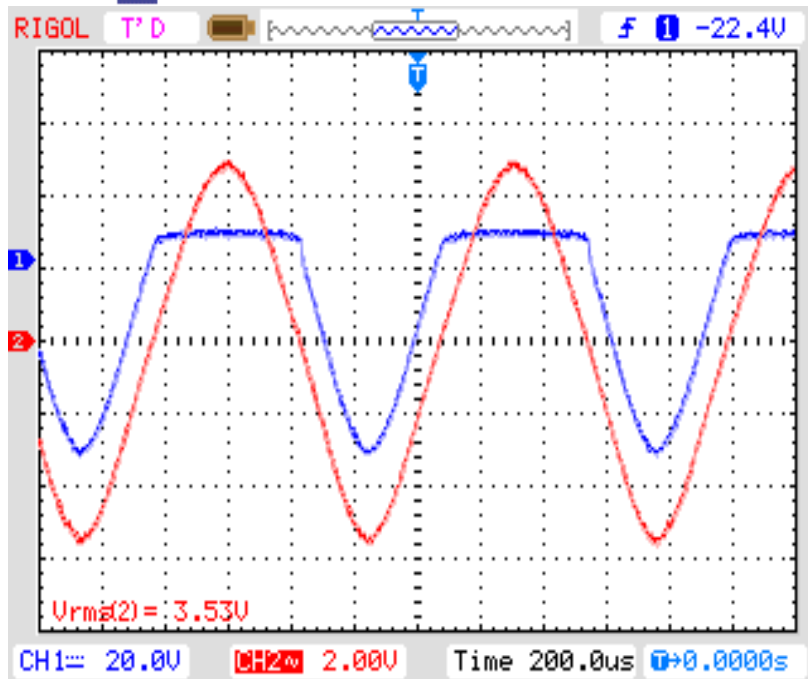
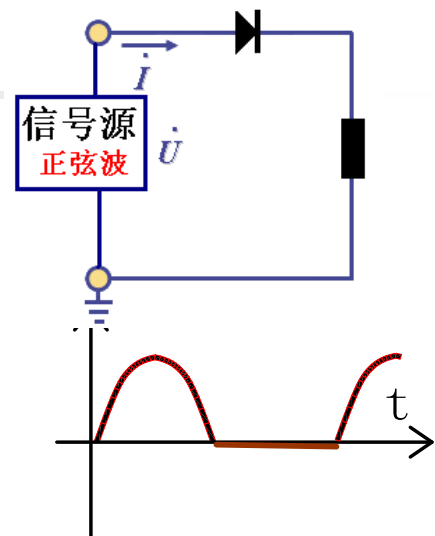
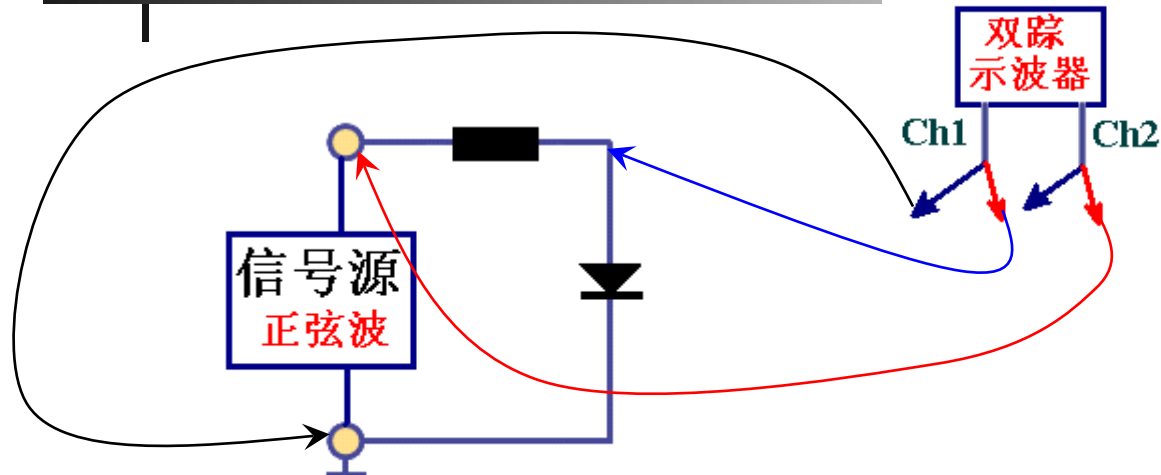
4、对两个“直流信号源”模块上接上 $\pm 15V$ ，用万用表测量Vout1和Vout2范围应该约在 $-12V \sim +12V$ 。

注意：连线前请检测器件的参数

整流电路实验板和直流稳压电源的结构框图



回顾秋学期实验--共地法观测二极管门限电压



选做P279半波整流电路

✓ 右图所示电路半波整流电路。

(定义 $v_2 = \sqrt{2} V_2 \sin \omega t$)

✓ 采用理想二极管模型分析，波形如右下。

$$v_O = \sqrt{2} V_2 \sin \omega t \quad (\text{半波})$$

$$V_O = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} v_O dt = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V_2 \approx 0.45 V_2$$

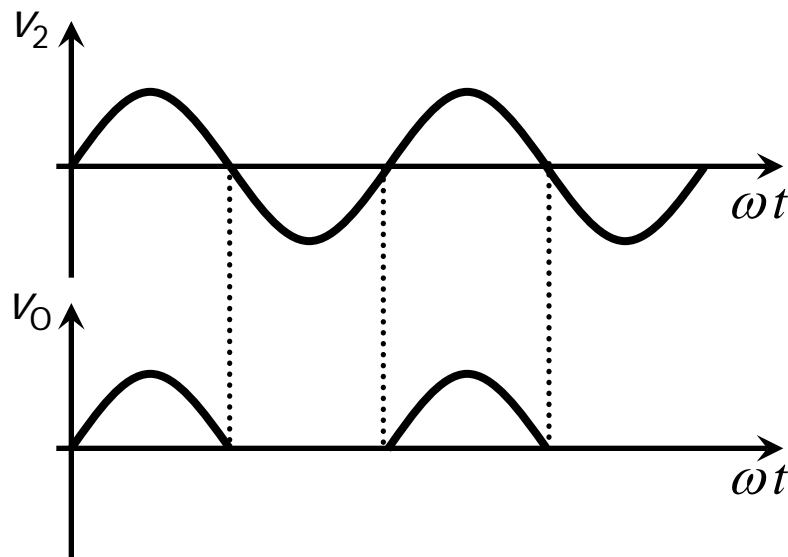
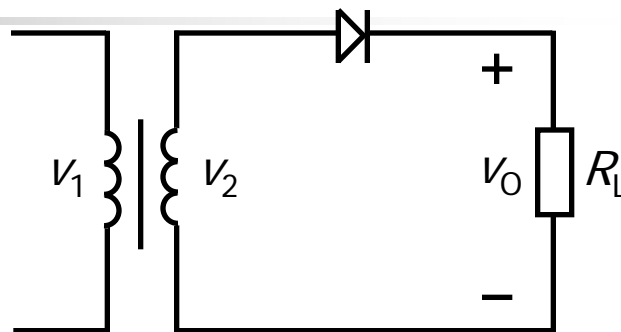
✓ 单相半波整流电路；

(整流：交流电转换成直流电)

✓ 调整负载 R_L ？

将负载 R_L 换成 (多大的) 电容？

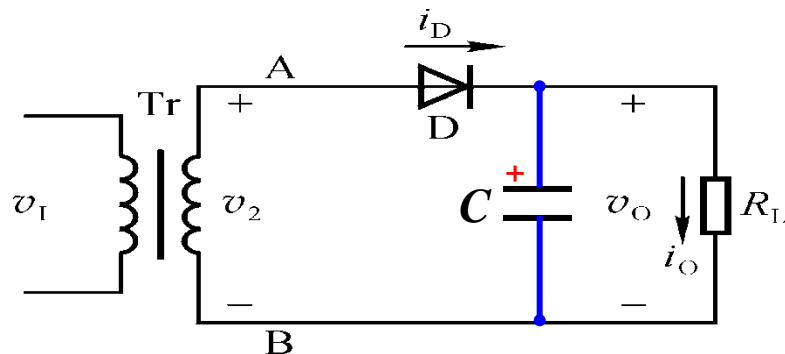
在负载 R_L 旁并联电容？



二极管相当于开关

选做5、半波整流测量电路和参考任务

注意：接入电容滤波后，
怎样看纹波？跟RC时间常数相关，什么时候选择DC耦合直接可以看到纹波，什么时候需要AC耦合，才能看到纹波？



变压器输出作为输入：例 0 ~ 9V)

AB 端口只接电阻（例 $100\text{ k}\Omega$ 或 $10\text{ k}\Omega$ ）：

观察并记录端口（输入端 v_2 、输出端 v_O ）波形；

测量波形的相关参数（有效值、直流分量等）。

（**选做：**比如调整什么参数，测什么参数，比对什么参数？）

AB 端口只接电容（例 $470\text{ }\mu\text{F}$ 或 $0.1\text{ }\mu\text{F}$ ）、接电阻并联电容，重复前述工作。

注意极性！

P279全波整流电路

✓ 右图所示全波整流电路。

✓ v_2 正半周：

D_1 、 D_3 导通， D_2 、 D_4 截止；

$v_2^+ \rightarrow D_1 \rightarrow R_L^+ \rightarrow R_L^- \rightarrow D_3 \rightarrow v_2^-$

✓ v_2 负半周：

D_2 、 D_4 导通， D_1 、 D_3 截止；

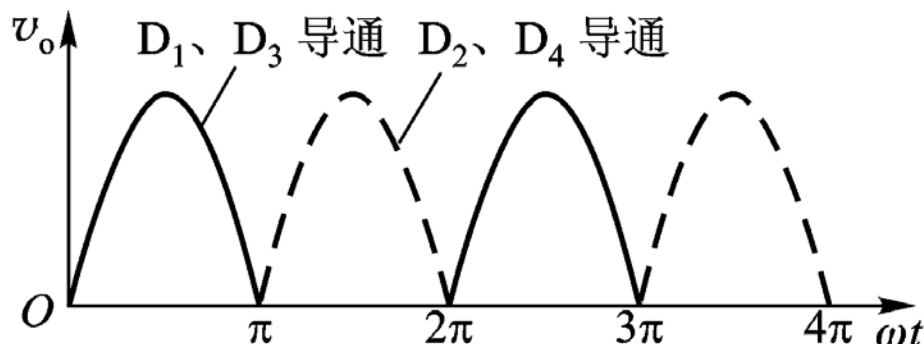
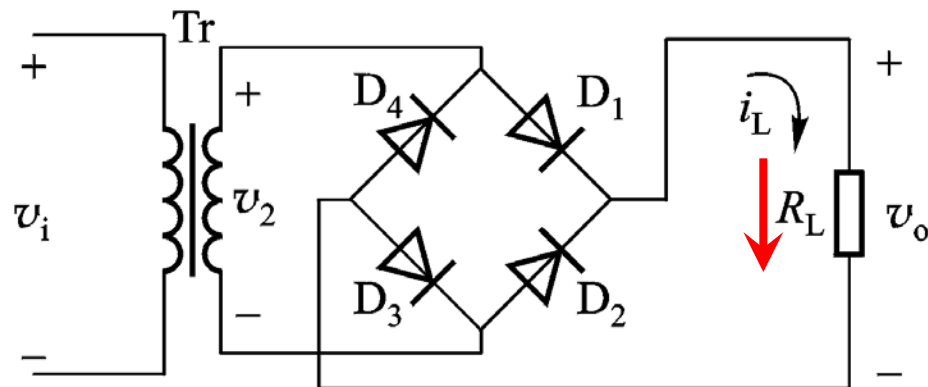
$v_2^- \rightarrow D_2 \rightarrow R_L^+ \rightarrow R_L^- \rightarrow D_4 \rightarrow v_2^+$

✓ 全波桥式整流电路。

✓ 调整负载 R_L ？

将负载 R_L 换成电容？

在负载 R_L 旁并联电容？



问题6：对于不同的整流电路来讲怎样在示波器测量下判断二极管的导通电压？
应该怎样来测量输出端平均值电压？

P280电容滤波电路

✓ 右图所示电容滤波电路。

✓ 定义： $v_2 = \sqrt{2}V_2 \sin \omega t$

若断开 S，则： $v_C = \sqrt{2}V_2$

✓ 若合上 S：

若 $v_2 < v_C$ ：

所有二极管均为反偏；

电容 C 对 R_L 放电 ($\tau_d = R_L C$)；

v_C 缓慢下降。

若 $v_2 > v_C$ ：

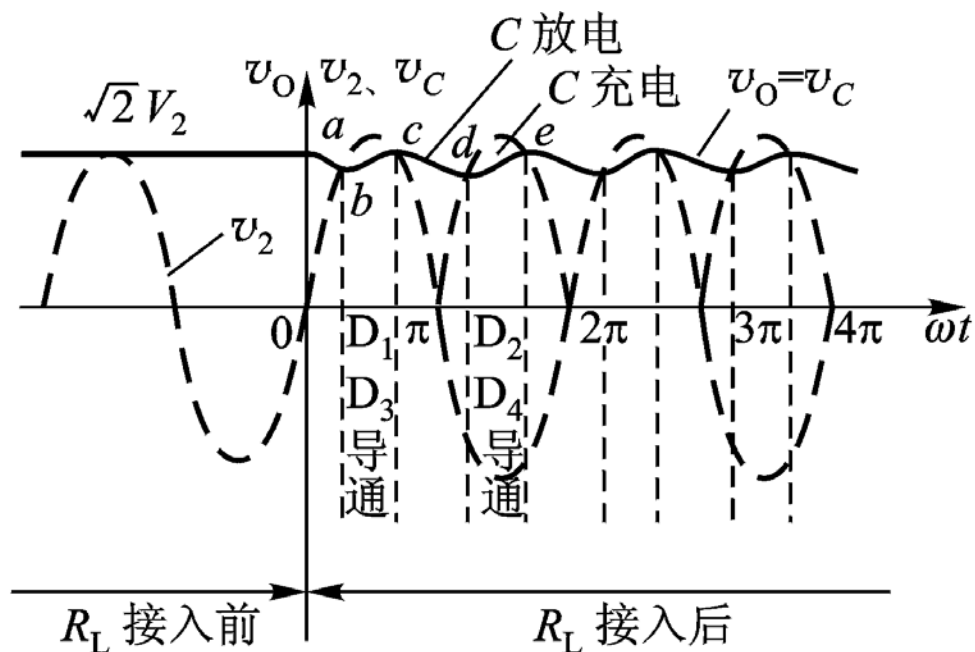
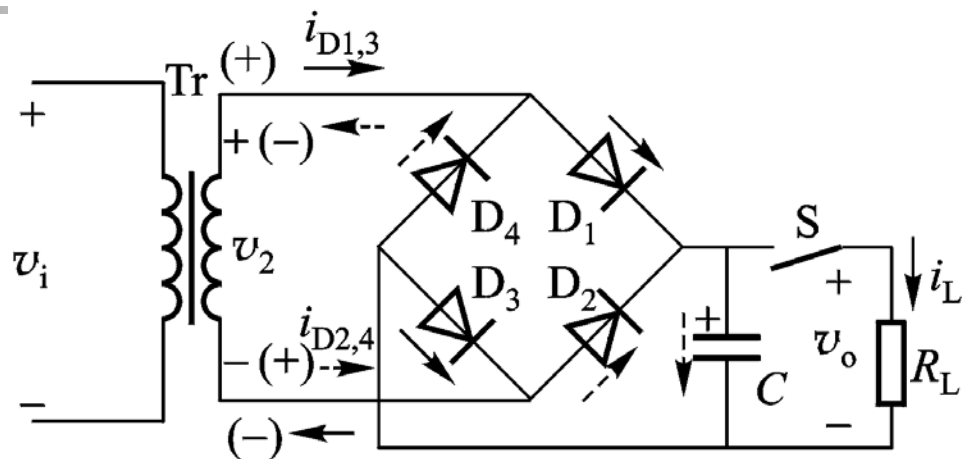
D_1 、 D_3 管导通；

$i_{D1,3}$ 的一部分提供负载电流；

另一部分对电容 C 充电；

($\tau_d \approx R_{int} C$)

v_C 上升较快。





P280电容滤波电路（滤波参数）

✓ 输出直流电压平均值 V_O

空载（ $R_L = \infty$ ）时，输出直流电压平均值最大： $V_O = \sqrt{2}V_2$

$R_L C$ 值很小（相当于无滤波电容）时： $V_O \approx 0.9V_2$

一般情况下，可按下式估算： $V_O = 1.2V_2$

✓ 为确保二极管安全工作要求：

二极管允许的反向电压： $V_R = \sqrt{2}V_2 < V_{RM}$

二极管最大整流电流： $I_D = \frac{V_O}{2R_L} < I_F$

6、全波整流测量电路和参考任务

注意：不可以示波器双踪显示 v_2 、 v_o 。

变压器输出作为输入：（例 0 ~ 9V）

AB 端口只接电阻（例 100 k Ω 或10 k Ω ）：

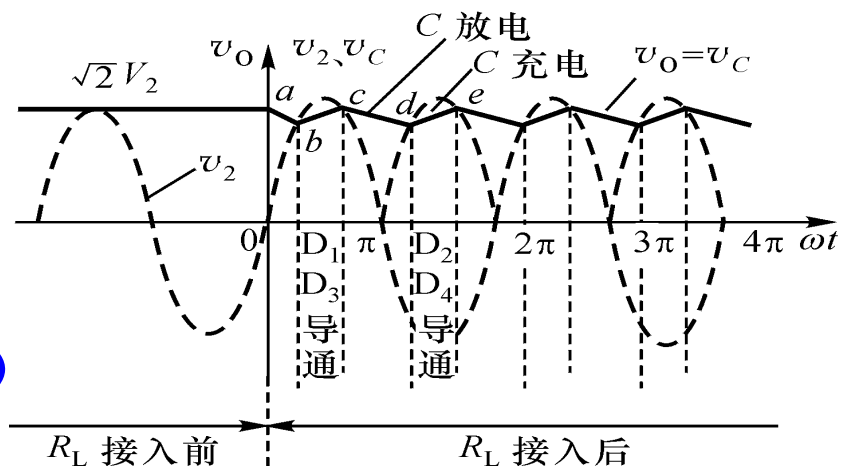
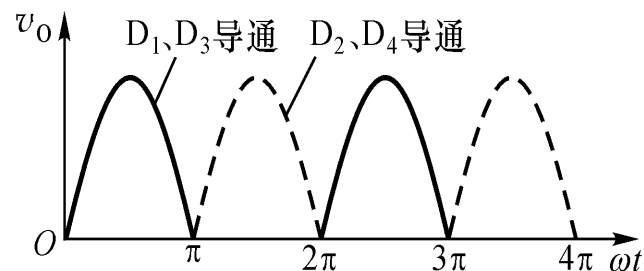
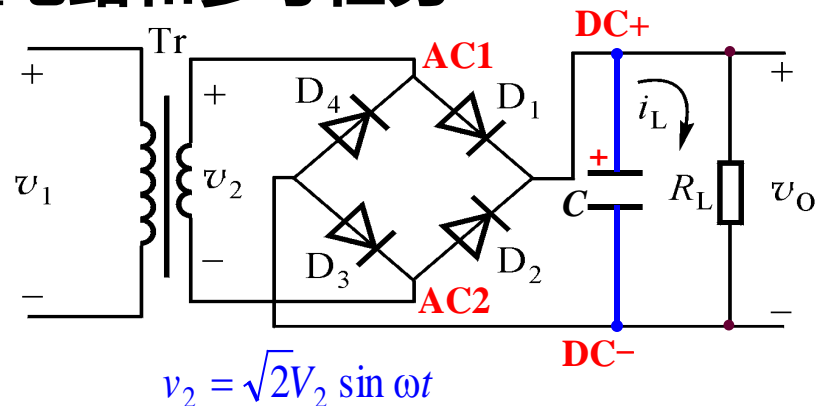
观察并记录端口（输入端 v_2 、输出端 v_o ）波形；

测量波形的相关参数（有效值、直流分量等）。

（**选做**：比如调整什么参数，测什么参数，比对什么参数？）

AB 端口只接电容（例 470 μ F或0.1 μ F）、接电阻并联电容，重复前述工作。

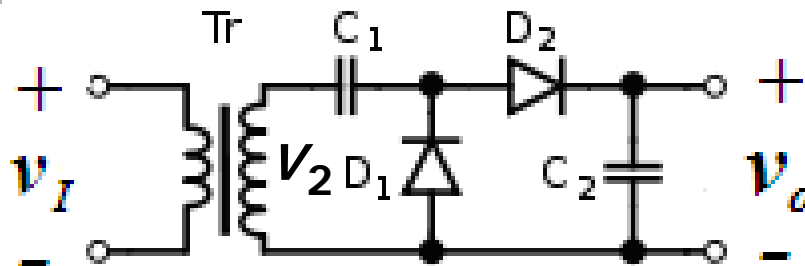
注意极性！



选做P281倍压电路

✓ 右图所示倍压电路。

(定义 $v_2 = \sqrt{2} V_2 \sin \omega t$)



✓ v_2 负半周 :

D_1 导通 , D_2 截止 , v_2 经 D_1 向 C_1 充电。

(理想时 , C_1 可充电至 $\sqrt{2} V_2$)

✓ v_2 正半周 :

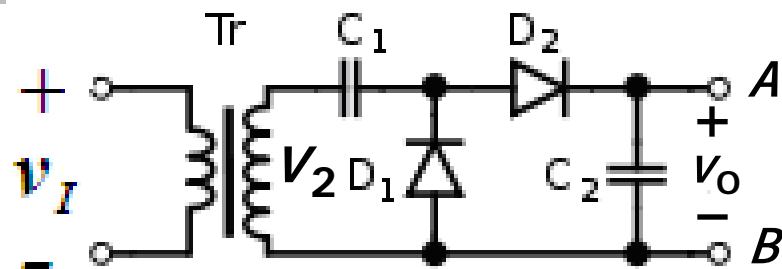
D_1 截止 , D_2 导通 , v_2 经 C_1 、 D_2 向 C_2 充电 ;

(理想时 , C_2 可充电至 $\sqrt{2} V_2 + V_{C1m} = 2\sqrt{2} V_2$)

✓ C_2 的电压需几个周期后才会逐渐达到极值。

(若接有负载 , 则负半周期间 C_2 上的电压还会略有下降)

选做倍压测量电路和参考任务



仿照半波整流电流的测试 ...

(只分 AB 端口接电阻、不接电阻两种)

($C_1 = C_2 = 0.1\mu F$)

调整 (调大) 电容 , 效果会如何 ?



思考题

问题1：针对参考的输出伏安特性测量电路，元器件参数应该怎样设置？基极和集电极电压应该怎样选取？

问题2：从输出伏安特性曲线中可获得三极管的哪些参数？

问题3：针对参考的输入伏安特性测量电路，元器件参数应该怎样设置？基极和集电极电压应该怎样选取？

问题4：从输入伏安特性曲线中可获得三极管的哪些参数？

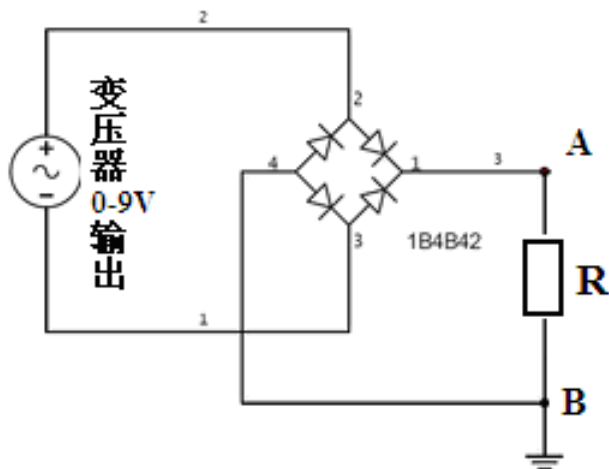
问题5：共射极三极管伏安特性曲线电路的设计和测量过程中有哪些需要注意的问题？在本次实验条件下能否分析 V_{CE} 和 V_{BE} 、 β 的关系？

问题6：对于不同的整流电路来讲怎样在示波器测量下判断二极管的导通电压？应该怎样来测量输出端平均值电压？

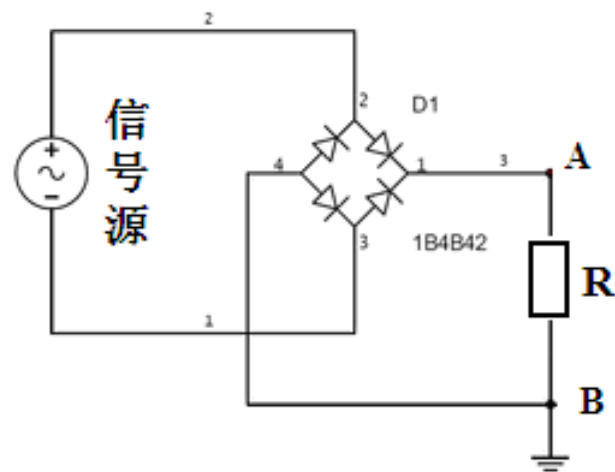
实验教程：思考与讨论

P283

图8.30中的两个测试电路观察到的波形与理论分析吻合吗？区别在哪里？原因是什么？如何才能得到真正的全波整流电路波形？



(a) 变压器输出



(b) 信号源输出

图8.30 全波整流测试电路

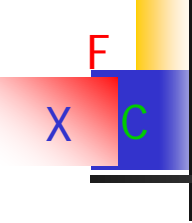


课后作业

本次实验无需验收。

本次需提交实验报告，要求请参看实验教材的要求和课件要求，及请回答教材和课件中思考问题。

请学习：第五章



下次实验

5.6模拟电路的仿真分析举例(P142-153)