
模拟电子技术基础第一次仿真作业

实验报告

姓名： 黄 磊

班级： 自 86

学号： 2018011565

日期： 2020. 03. 08

目录:

1.	实验目的	3
2.	仿真内容	3
	仿真 1-1	3
	仿真 1-2	7
	仿真 1-3	8
3.	仿真中遇到的问题以及解决方法	10
4.	实验小结与收获	11
5.	参考资料	11

一、实验目的

- 掌握基本元件电路的分析方法；
- 熟悉仿真软件环境，掌握仿真软件的基本测量手段（用万用表的交流和直流档测量电压和电流、用示波器测量和观察信号、用 IV 分析法测量半导体器件的特性曲线）；
- 熟悉仿真软件的基本分析方法（直流扫描分析方法）。

二、仿真内容

仿真题 1-1: 用 IV 分析仪（IV Analyzer）测量二极管的伏安特性曲线和晶体管的输出特性。实验采用小功率二极管 1N3064, 晶体管采用小功率晶体管 2N2222A 。实验电路图比较简单，电路图如下：

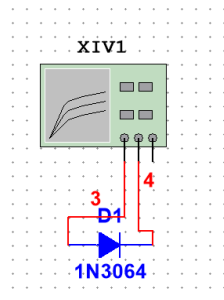


图 1-1.1：测量二极管伏安特性曲线电路

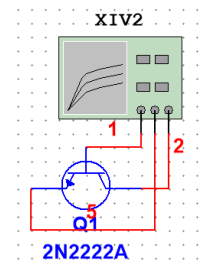


图 1-1.2：测量晶体管输出特性电路

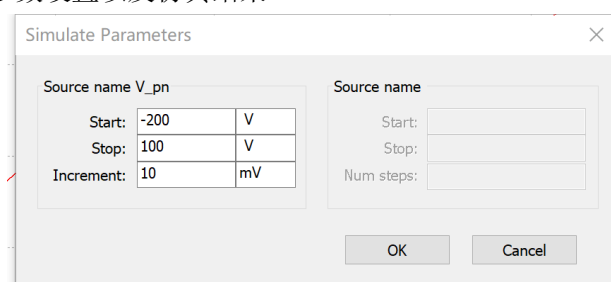
(1) 用 IV 分析仪（IV Analyzer）测量二极管的伏安特性曲线

1. 查阅 1N3064 的数据手册得到相关参数如下：

Electrical Characteristics T_C = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Max	Units
V _R	Breakdown Voltage	I _R = 5 A	75		V
V _F	Forward Voltage	I _F = 250 A	505	575	mV
		I _F = 1mA	550	650	mV
		I _F = 2mA	610	710	mV
		I _F = 10mA		1.0	V
I _R	Reverse Leakage	V _R = 50V V _R = 50V, T _A = 150 C		100 100	nA A
C _T	Total Capacitance	V _R = 0, f = 1.0MHz		2	pF
t _{rr}	Reverse Recovery Time	I _F = I _R = 10mA, R _L = 100 , I _{rr} = 1mA		4	ns

2. 仿真参数设置以及仿真结果



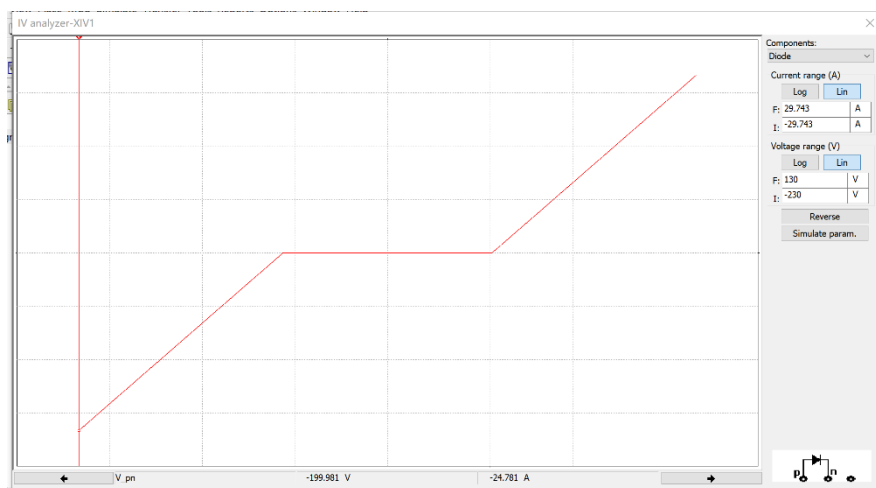
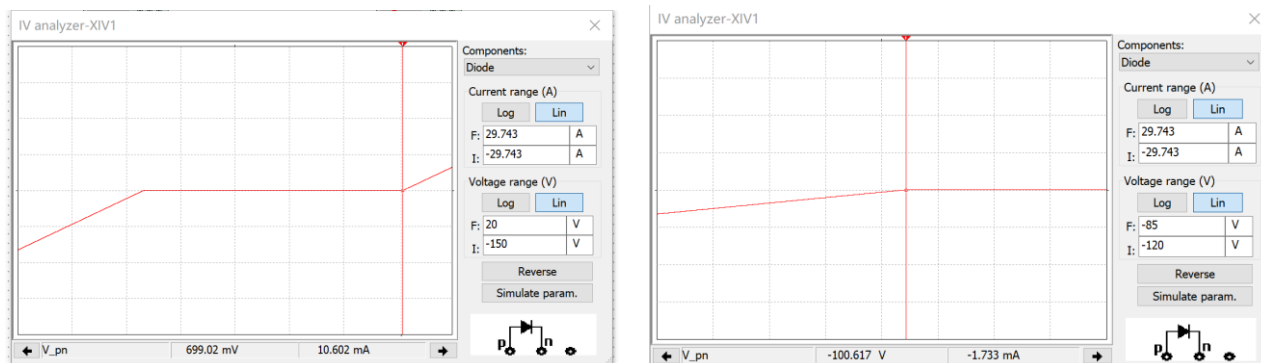


图 1-1.3 用 IV 分析仪测量二极管的伏安特性曲线仿真电路图

3. 仿真分析

从仿真结果图中可以看出，曲线符合二极管性质：对二极管施加正向电压时，如果电压较小 $U < U_{ON}$ ，则正向电流很小，二极管处于截至状态；当正向电压大于 U_{ON} ，二极管处于导通状态，正向电流将随电压增大而增大；如果对二极管施加反向电压，在二极管不被反向击穿的情况下，二极管只有很小的反向饱和电流；如果二极管被反向击穿，则反向电流增加。

改变电压(voltage range)和电流(current range)坐标显示范围，移动位于最左侧的测量标记线，测量正向电压为0.7V左右时的电流 I_D 以及反向击穿电压 U_{BR} ，与手册上对应值比较。



由图可知，正向电压为0.7V时的电流 I_D 约为10.603mA，反向击穿电压 U_{BR} 约为-100.617V，查阅相关数据手册可知，当正向电压 $610mA \leq V_F \leq 710mV$ ，电流为2mA；正向电压为 $V_{F.max} = 1.0V$ ，电流为10mA。这与仿真得到的结果稍有差异，可能是由于Multisim元件的参数设置与实际做工稍有不同原因；但数据手册上当 $I_F = 10mA$ 所对应的 $V_F = 1.0V$ 为最大值，因此在误差允许的情况下，仿真结果也是正常的。另一方面，数据手册上的反向击穿电压的最小值为75V，而仿真结果为100V，数据是合理的。

(2) 用 IV 分析仪 (IV Analyzer) 测量晶体管输出特性电路

1. 查阅 2N222A 相关数据手册得到相关参数如下：

参数	符号	2N2222	2N2222A	单位
集电极-发射极电压	V_{CEO}	30	40	V
集电极-基极电压	V_{CBO}	60	75	V
发射极-基极电压	V_{EBO}	5	6	V
集电极电流-连续	I_c	600		mA
器件耗散	@ $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	PD	625	mW
操作和存储结温范围	T_J, T_{stg}	-55 to +150		$^{\circ}\text{C}$

2. 仿真参数设置以及仿真结果

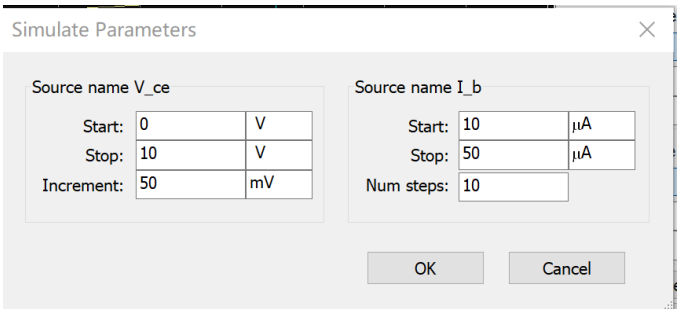


图 1-1.4 仿真参数设置

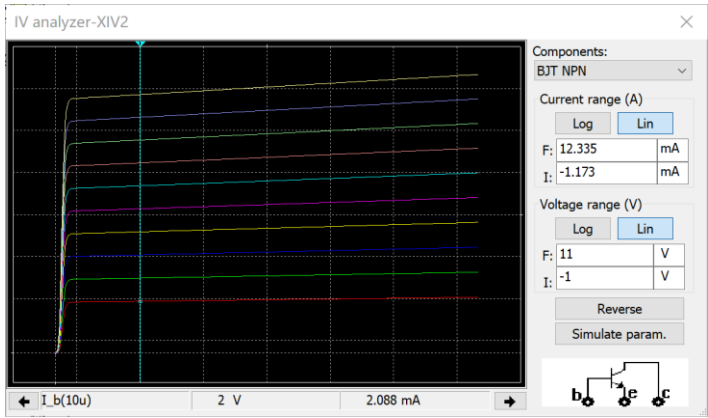


图 1-1.4 $U_{CE} = 2V$ 且 $I_B = 10\mu A$ 最底部红色线

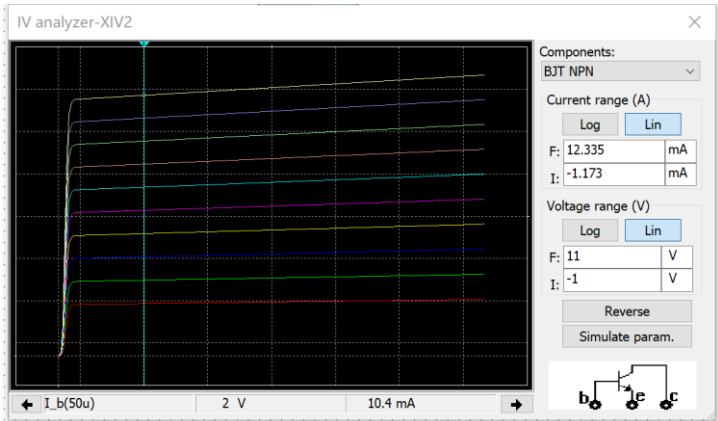


图 1-1.4 $U_{CE} = 2V$ 且 $I_B = 50\mu A$ 最顶部黄色线

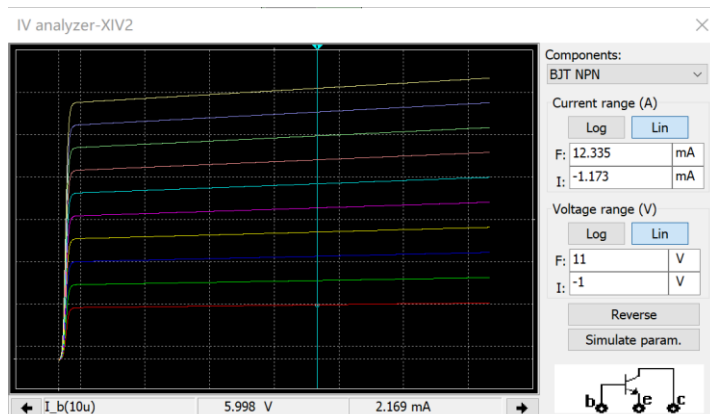


图 1-1.4 $U_{CE} = 6V$ 且 $I_B = 10\mu A$ 最底部红色线

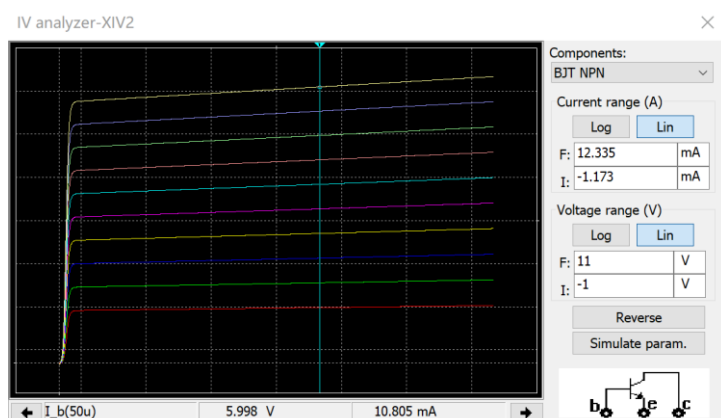


图 1-1.4 $U_{CE} = 6V$ 且 $I_B = 50\mu A$ 最顶部黄色线

3. 仿真分析

从表中读出 U_{CE} 、 I_B 和 I_C 的值，并利用公式 $\beta = \frac{I_C}{I_B}$ 求得 β ，得到下表：

U_{CE}/V	$I_B/\mu A$	I_C/mA	β
2	10	2.088	208.8
2	50	10.4	208.0
6	10	2.169	216.9
6	50	10.805	216.1

表 1-1.1 U_{CE} 、 I_B 和 I_C 以及 β 的值

从上表可知， β 随 I_B 增大略有减小，随 U_{CE} 增大而增大，体现出了 *Early* 效应。为了得到 V_A 的值，我分别读取 $I_B = 10\mu A$ 和 $I_B = 50\mu A$ 下 I_C 随 U_{CE} 变化的一系列值：

$I_B = 10\mu A$						
U_{CE}/V	1.684	2.961	4.267	5.747	7.068	8.635
I_C/mA	2.082	2.107	2.134	2.164	2.191	2.223
$I_B = 50\mu A$						
U_{CE}/V	1.365	2.12	3.019	4.877	6.894	8.214
I_C/mA	10.336	10.412	10.503	10.691	10.895	11.029

表 1-1.2 $I_B = 10\mu A$ 和 $I_B = 50\mu A$ 下 I_C 随 U_{CE} 变化的一系列值

得到相关线性回归图像以及回归公式如下：

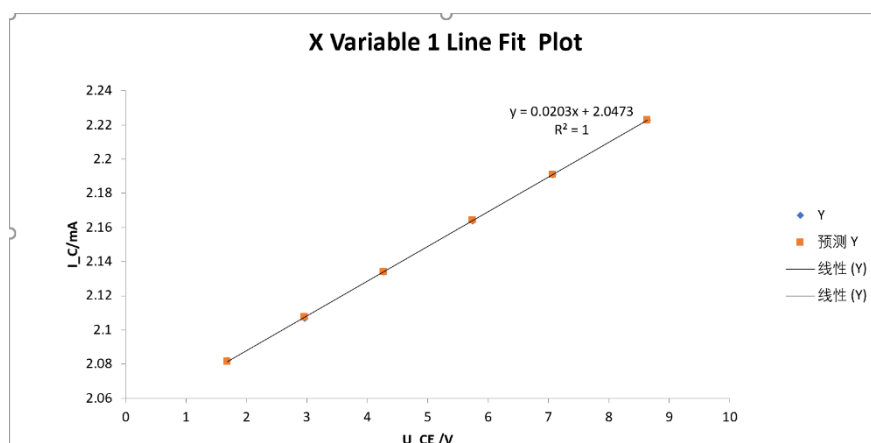


图 1-1.5 $I_B = 10\mu A$ 时 I_C 随 U_{CE} 的回归图像以及公式

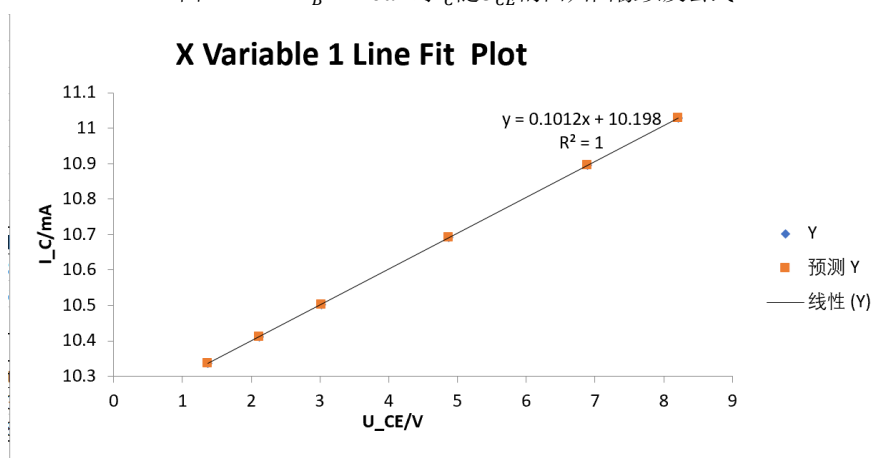


图 1-1.5 $I_B = 50\mu A$ 时 I_C 随 U_{CE} 的回归图像以及公式

因此我们得到：

$I_B/\mu A$	$I_C - U_{CE}$	V_A/V
10	$I_C = 0.0203U_{CE} + 2.0473$	100.85
50	$I_C = 0.1012U_{CE} + 10.198$	100.77

因此，Early 电压 V_A 大约为 100V。

仿真题 1-2: 教材习题 1.16：利用 Multisim 研究图 P1.4 所示电路在 R 的阻值变化时二极管的直流电压和交流电压的变化，并总结仿真结果。电容 C 可以用 $100\mu F$ ，二极管选用小功率二极管 1N3064。电路图如下：

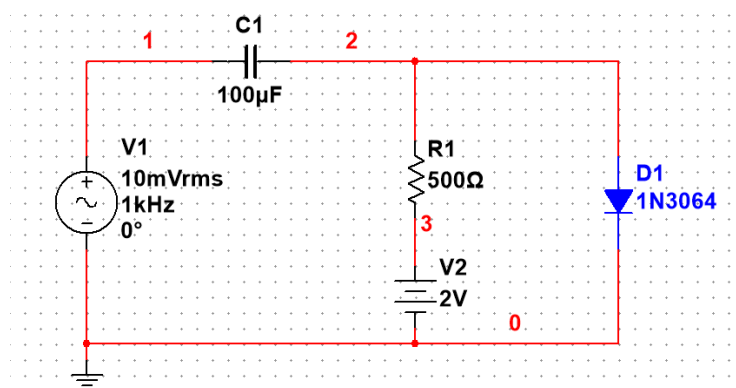


图 1-2.1 仿真 1-2 电路图

利用直流参数扫描功能得到 $V(2)$ 和 R_1 的关系如下图:

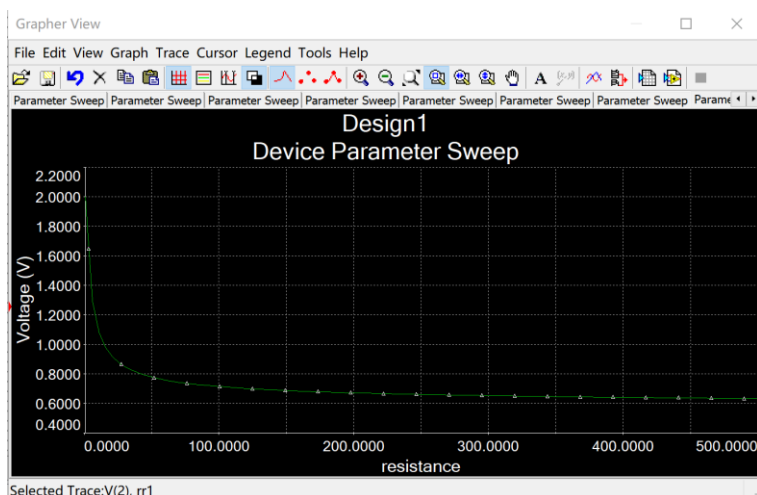
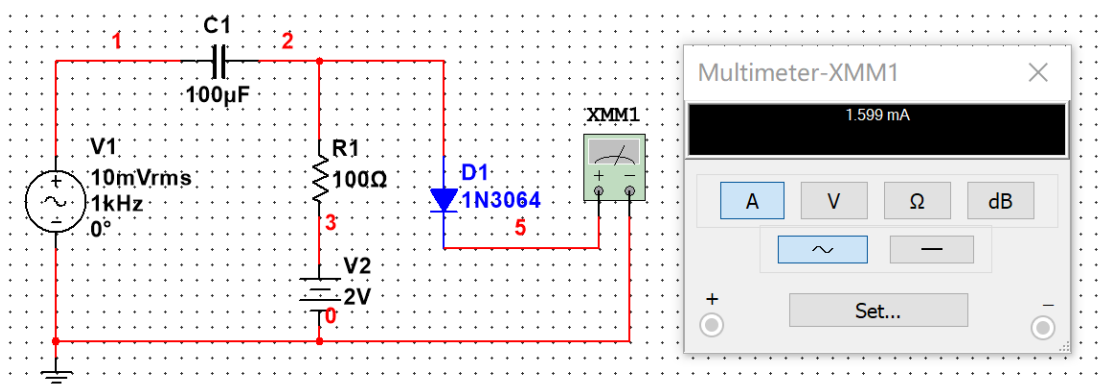


图 1-2.2 电路在 R 的阻值变化时二极管的直流电压变化

可见,随着 R_1 值的逐渐增大,二极管的直流电压逐渐变小,是因为 R_1 增大使二极管中直流电流减小,从而使其直流电压减小。因此可以看出,对于一个二极管,在不同的直流电流下,其导通压降是不同的。

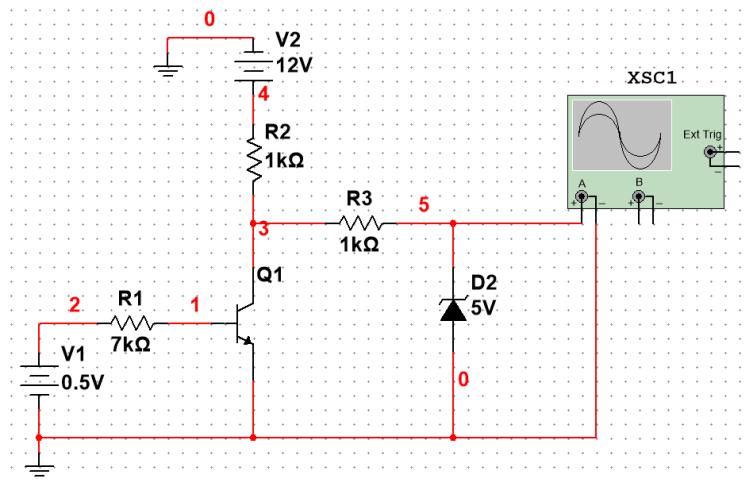
为了得到电路在 R 的阻值变化时二极管的交流电压的变化,我采用万用表交流电流档测量,手动改变 R_1 的值,并得到其电流值并记录,电路图与记录表如下:



R_1 / Ω	50	125	234	275	325	400	500	600	700	800
I_{D1} / mA	1.868	1.49	1.144	1.051	0.957	0.843	0.728	0.640	0.572	0.516

可见,交流电流随着 R_1 的增大而减小,这是因为在 R_1 变化的时候二极管的交流压降基本不变,而直流电流变小,从而使二极管动态电阻增大,因而交流电流变小。

仿真题 1-3: 现有晶体管、稳压管、电阻、直流电源+12V, 已知晶体管的 $\beta = 200$, 稳压管的 $U_Z = 5V, I_{ZM} = 20mA$ 。请设计一个电路, 当输入电压 u_i 为0到1V时, 输出电压约为高电平+5V, 当 u_i 大于2V时输出电压约为低电平0V。晶体管、稳压管、电阻可用虚拟元件。所设计电路图如下图所示: (假设 $U_{BE} = 0.7V$)



1. 设计思路:

我先考虑 $0 \leq u_I \leq 0.7V$ ，晶体管截至电路图应等效为右图:

R_4 阻值待定, 输出电压为 $u_O = U_7$ 。假设稳压管处在反向击穿的稳压状态, 即 $U_7 = 5V$, 则有:

$$I = \frac{V_{CC} - U_7}{R_4} \leq I_{ZM}$$

显然, R_4 取值可以很广泛, 在电路图中取了 $2k\Omega$, 其中 $R_2 = 1k\Omega$ 用于分压, $R_3 = 1k\Omega$ 用于限流保护。

然后我再考虑 $0.7 < u_I \leq 1V$ 的情况, 要满足题意, 需要让晶体管工作在放大区, 此时应该有如下式子:

$$I_b = \frac{u_I - U_{BE}}{R_1} \dots\dots\dots 1$$

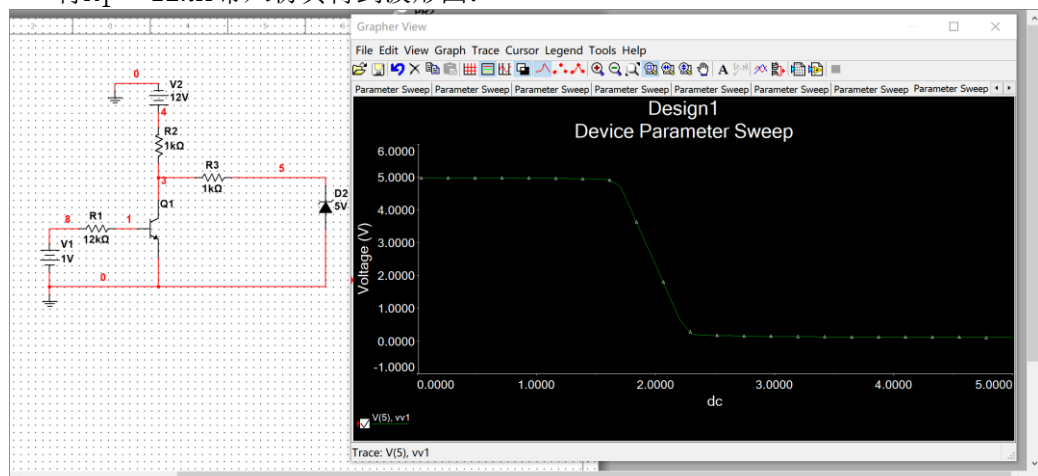
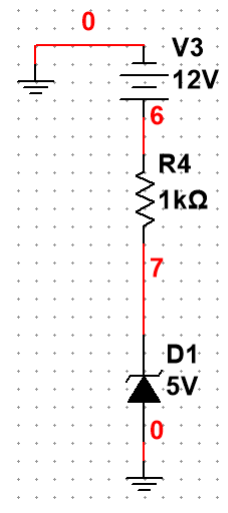
$$I_c = \beta I_b \dots\dots\dots 2$$

$$U_3 = V_{CC} - (I_c + I_5)R_2 \dots\dots\dots 3$$

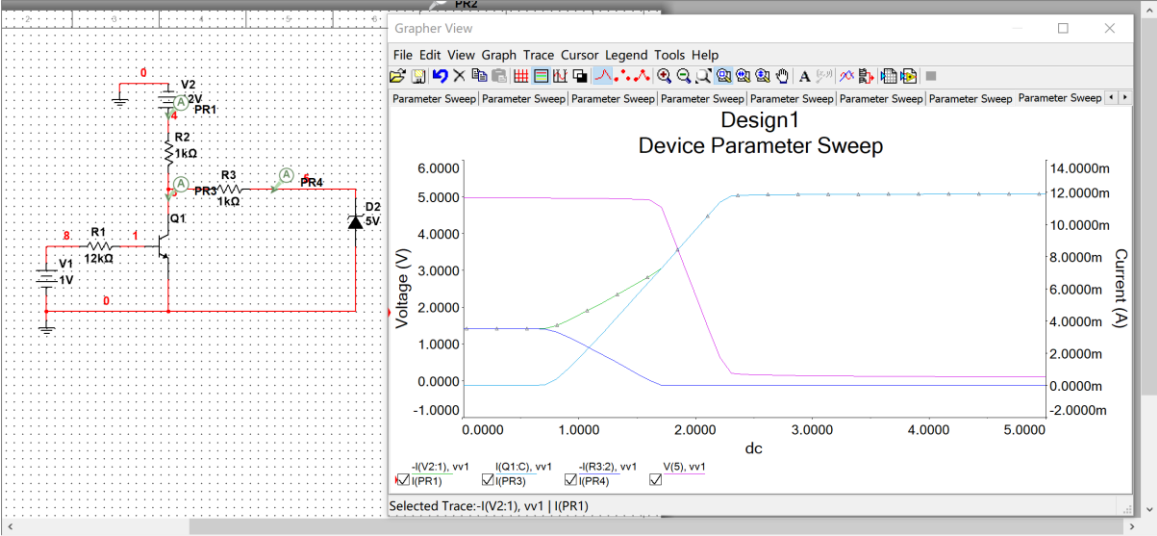
$$U_5 = U_3 - I_5 R_3 \geq 5 \dots\dots\dots 4$$

其中需要 I_5 进行估计。从第一种情况的考虑来看, 在 $R_4 = 2k\Omega$ 的情况下 I_5 只有 $3.5mA$, 而在现在考虑的这种情况, I_5 也只有几毫安的大小, 取输入 $u_I = 1V$ 的情况, 可以得到 R_1 理论上大约需要 $12k\Omega$ 左右;

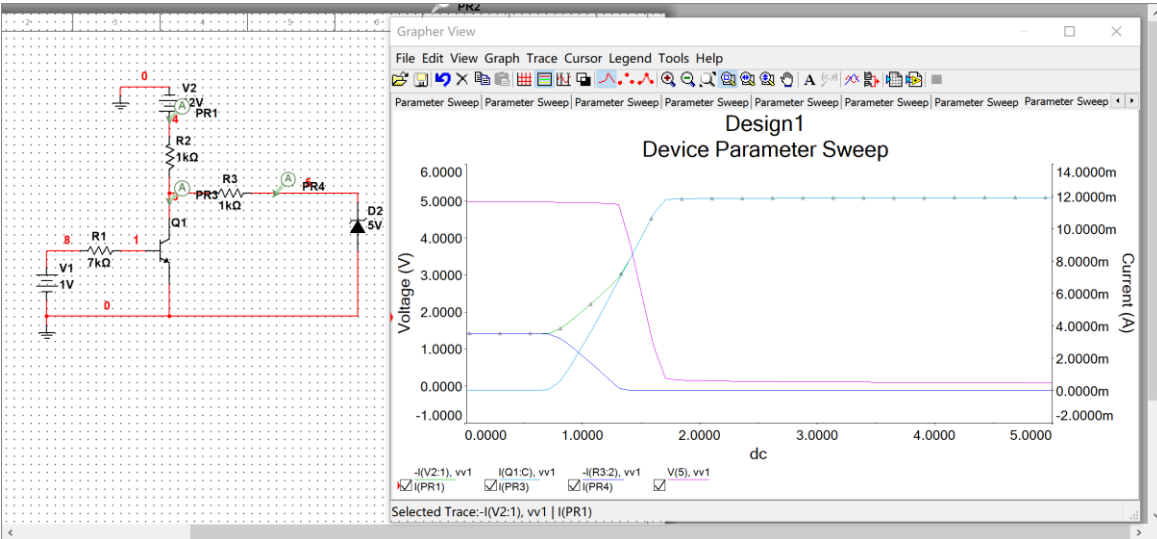
然后考虑题目所需要的第二个要求, 当 $u_I \geq 2V$, 输出接近 0, 则晶体管应该工作在饱和区, 集电极电压要非常小接近 $0V$, 则需要 R_1 尽量小。结合上述情况, 我们将 $R_1 = 12k\Omega$ 带入仿真得到波形图:



发现并不能很好的满足要求。这让我感到很疑惑，思考很久以后向老师提出了疑问。老师认为因为工艺制作以及晶体管内部工作原因，可能实际情况和理想分析的情况下集电极的电流并不会相同。因此我放置了三个电流探针，分别采样集电极电流、 R_2 流过电流以及 R_3 流过电流，得到如下波形图：



发现在输入为1V的时候集电极电流并不是所想的5mA左右，而是在1mA左右；而在输入为2V的时候，晶体管依然处于放大区。因此，我调节 R_1 的大小，发现在7kΩ的时候效果很好：

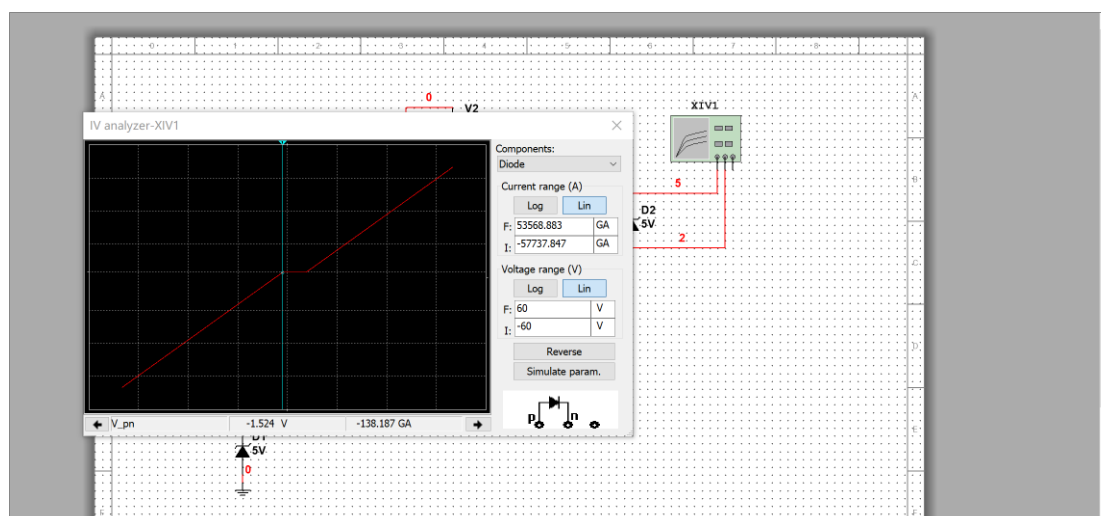


这时，在输入为1V的时候，集电极电流大约在2mA左右，稳压管输出5V左右；在输入大于2V时，输出接近于0，效果很好。因此最终采用 $R_1 = 7k\Omega$ 。

三、 仿真中遇到的问题以及解决方法

1. 仿真中首先遇到了对Multisim运用不熟悉的问题，比如在做仿真 1-1 的时候，对仿真参数设置的不熟悉，导致跑出来的波形图不是很准确，出现了一些不完整的错误波形。通过询问同学以及百度查找才更加熟悉Multisim的使用。实验便是教会在实践中学习。
2. 另外一个最大的问题就是仿真 1-3 中遇到的理想分析与实际仿真不符合的问题。理论计算 $R_1 = 12k\Omega$ 是完全可以的，但实际仿真却不太理想。这让我非常疑

惑。我第一个想到的是我对稳压管的特性不了解，为此我用IV分析仪测试了稳压管的输出特性：



但是最后发现并不是稳压管的问题。在反复计算确定无误的时候，我向叶老师提出了疑问，老师一开始怀疑是我的计算错误，但确定我计算没错的时候，老师提出了理想分析和实际情况下集电极电流的差异，因此我利用探针分别采样集电极电流、 R_2 流过电流以及 R_3 流过电流，发现确实和理想分析有所差异。这更让我明白了实验的重要性，因为理论情况毕竟是理想的，需要实验才能够发现问题。

四、实验小结与收获

在本次实验中，我对Multisim的使用更加熟悉，对其各种元器件、各种仿真的用处、适合条件以及参数设置等都有了更好的掌握。此外，对二极管和晶体管的仿真实验也让我更加直观的了解到了二极管和晶体管的工作性质，比如伏安特性、输入输出特性、以及直流交流工作特性等。最后，在电路设计题的“碰壁”和探索也让我对晶体管的工作状态有了更好的了解，并且明白了实践的重要性。将理论与实践结合，验证理论并发现矛盾，在实践中加深学习，也许这就是实验的魅力所在。

五、参考资料：

1. 1N3064 的数据手册：
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/120853/FAIRCHILD/1N3064.html>
2. 2N222A 的数据手册：
<https://html.alldatasheet.com/html-pdf/113409/CENTRAL/2N2222A/294/1/2N2222A.html>