

杭州电子科技大学

通信电路实验报告

姓名： 钱景瑞

学号： 20011723

班级： 20083411

序号： 05

实验名称：混频器设计及仿真

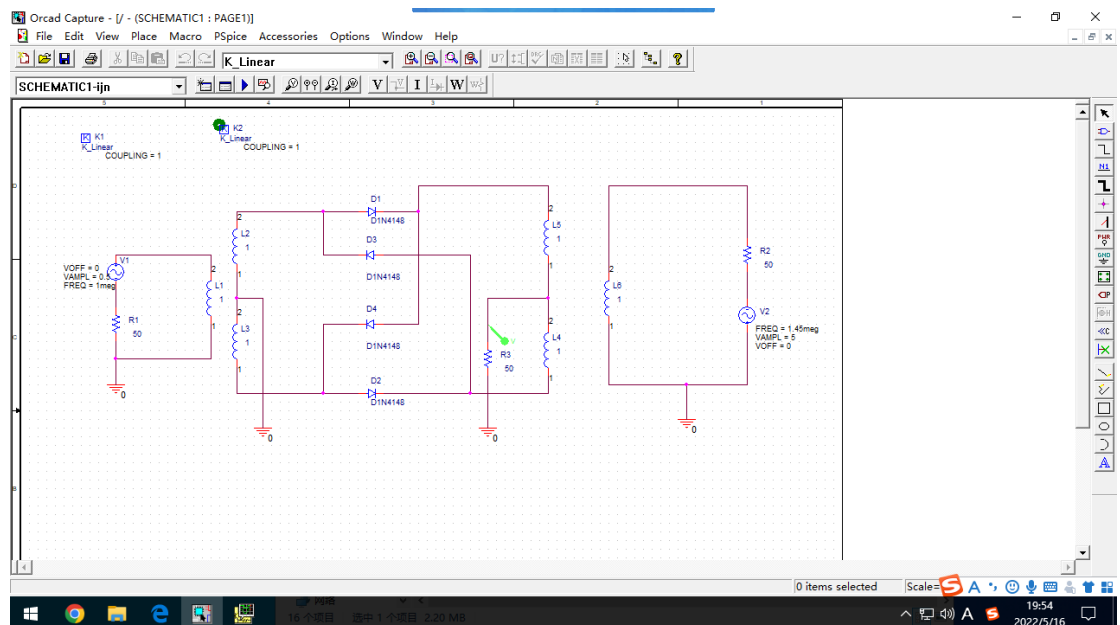
一、实验目的(10 分)

- 1、理解和掌握二极管双平衡混频器电路组成和工作原理。
- 2、理解和掌握二极管双平衡混频器的各种性能指标。
- 3、进一步熟悉电路分析软件。

二、设计要求及主要指标(10 分)

- 1、L0 本振输入频率：1.45MHz，RF 输入频率：1MHz，IF 中频输出频率：450KHz。
- 2、L0 本振输入电压幅度：5V，RF 输入电压幅度：0.5V。
- 3、混频器三个端口的阻抗为 50Ω 。
- 4、在本实验中采用二极管环形混频器进行设计，二极管采用 DIN4148。
- 5、分析混频器的主要性能指标：混频增益、混频损耗、1dB 压缩点、输入阻抗, 互调失真等；画出输入、输出功率关系曲线。

三、原理图(20 分)



四、仿真结果及计算分析(50 分)

R_2 的输出电压 (V_{IF}) 波形如下：

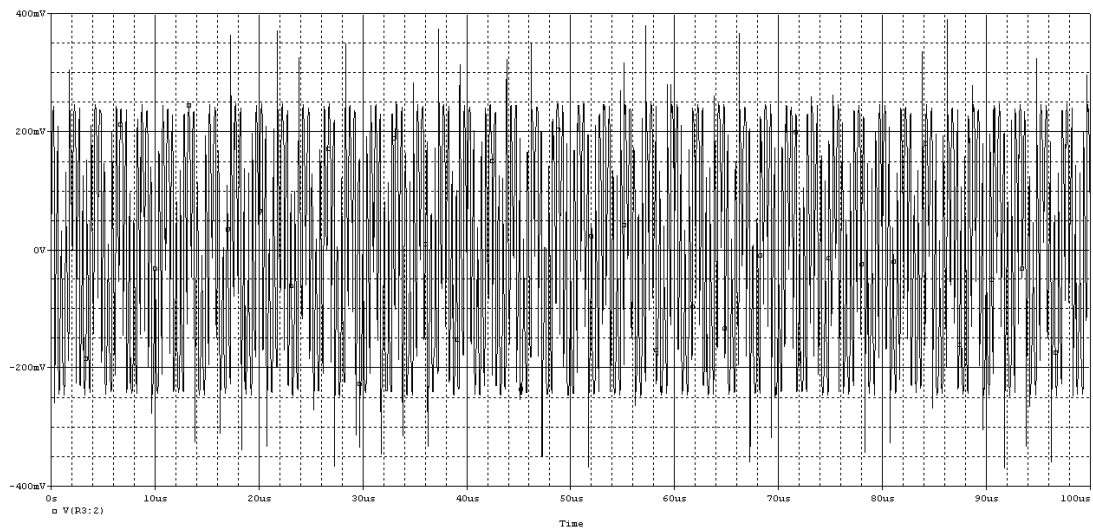


图 1 V_{IF} 时域波形

进行 FFT 变换后，得 R_2 的两端电压 (V_{IF}) 的频谱波形如下：

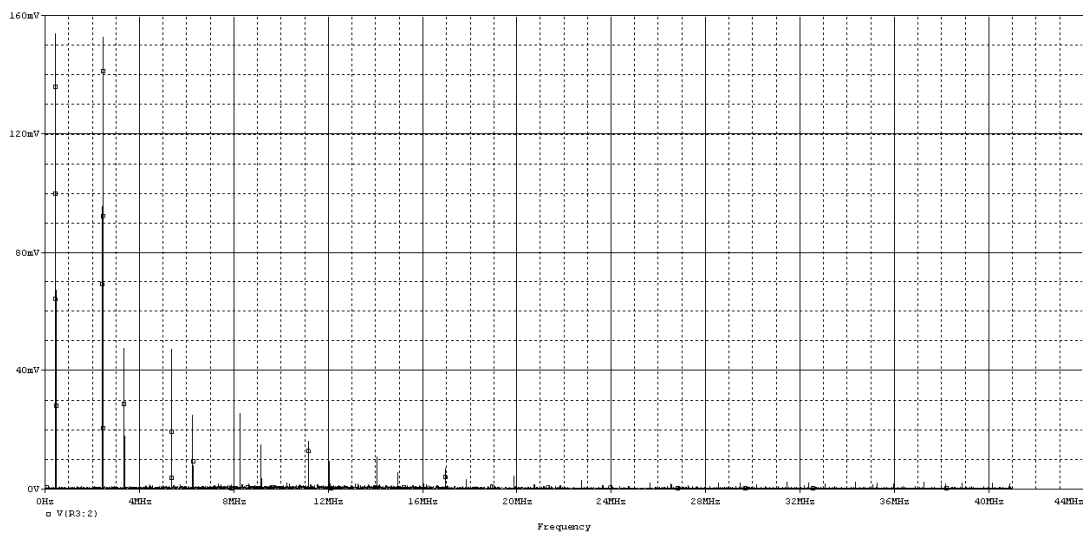


图 2 V_{IF} 频域波形

由输出的频谱图可见，环形混频器的输出电压中主要为 $p\omega_{LO} \pm \omega_{RF}$ (p 为奇数) 的组合频率分量 (450kHz、2.46MHz、3.34MHz、5.34MHz、6.23MHz 等等)，与理论分析一致。其中，45kHz 为差频输出分量。2.46MHz 为和频输出信号。

同时可以仿真得到 RF 信号的输入电压 V_{in} 、电流 I_{in} 波形如图所示。

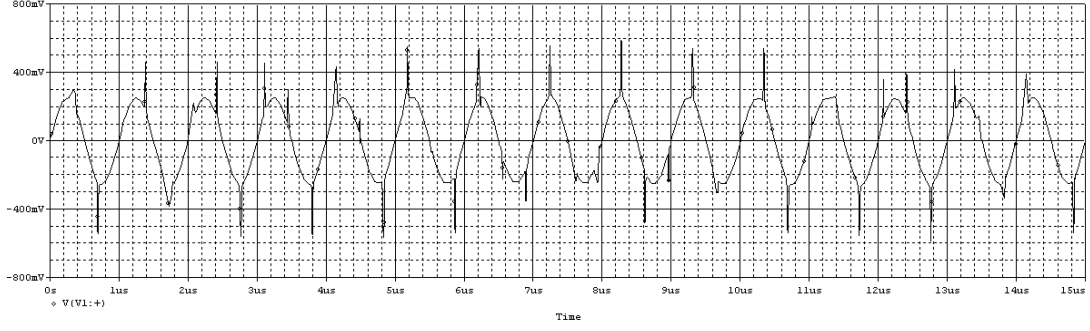


图 3 输出 RF 信号的电压 V_{in} 波形

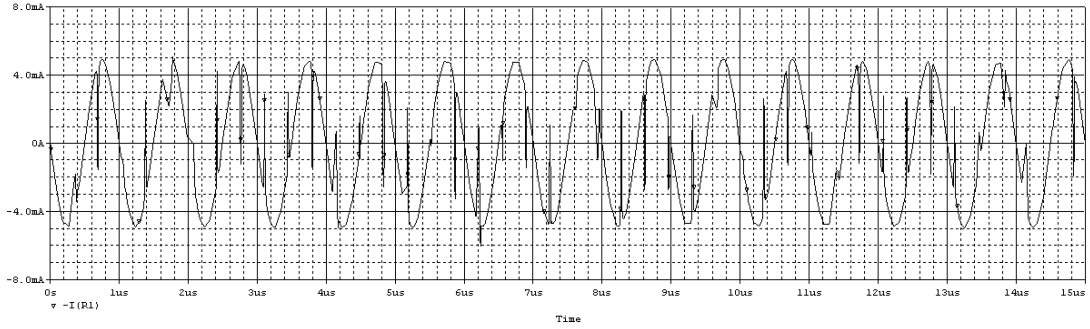


图 4 输出 RF 信号的电流 I_{in} 波形

观察波形图，信号波形基本上呈正弦波型。我们可以得到输入电压 V_{in} ，电流 I_{in} 幅值为：

$$V_{in} = 299.78 \text{ mV}$$

$$I_{in} = 4.877 \text{ mA}$$

由图 2 可以得到输出的中频（0.45MHz）的幅度为：

$$V_{IF} = 98.007 \text{ mV}$$

因此，通过以上数据求出混频器的混频增益为：

$$A_c = 20 \log \frac{V_{IF}}{V_{RF}} = 20 \log \frac{98.007}{299.78} = -9.7$$

输出的中频功率为：

$$P_{IF} = \frac{1}{2} \frac{V_{IF}^2}{R_L} = \frac{299.78^2}{2 \times 50} = 0.89868 \text{ mW}$$

RF 信号的输出功率为：

$$P_{in} = \frac{1}{2} V_{in} I_{in} = \frac{1}{2} \times 299.78 \times 4.877 = 0.731014 \text{ mW}$$

所以有混频器的混频损耗为：

$$L_C = 10 \log \frac{P_{in}}{P_{IF}} = 10 \log \frac{0.89868}{0.731014} = 0.90$$

对于 RF 输入端可得到输入阻抗为：

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{49.413}{4.877} = 10.1318\Omega$$

对于混频器的 1dB 压缩点，当输入的 RF 功率（电压）较低时，输出的 IF 功率与输入 RF 功率成比例关系。然而，当输入 RF 功率超过一定的量之后，则输入和输出功率就会偏离线性特征，当上述偏离达到 1dB 时所对应的点就可以作为混频器的特性参数，即 1dB 压缩点。因此本实验中，可逐步改变输入 RF 信号的电压值，从而得到对应的输出 IF 信号的幅值，然后在直角坐标系画出变化曲线。

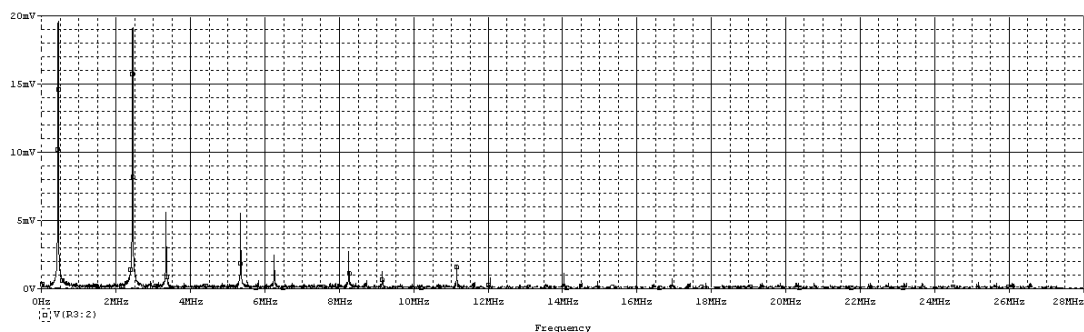


图 5 输出 IF 信号的频谱图

由图可得输出的 IF 信号电压值为：

$$V_{IF} = 19.468mV$$

RF 端输入的电压 V_{in} 和电流 I_{in} 波形如下图所示：

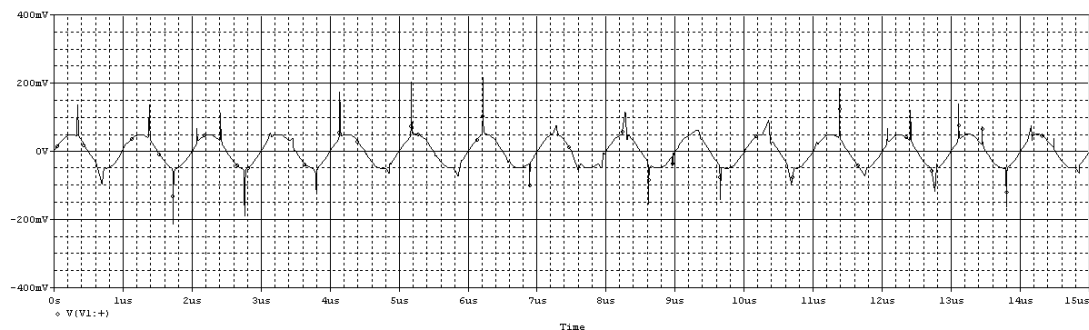


图 6 输入电压波形

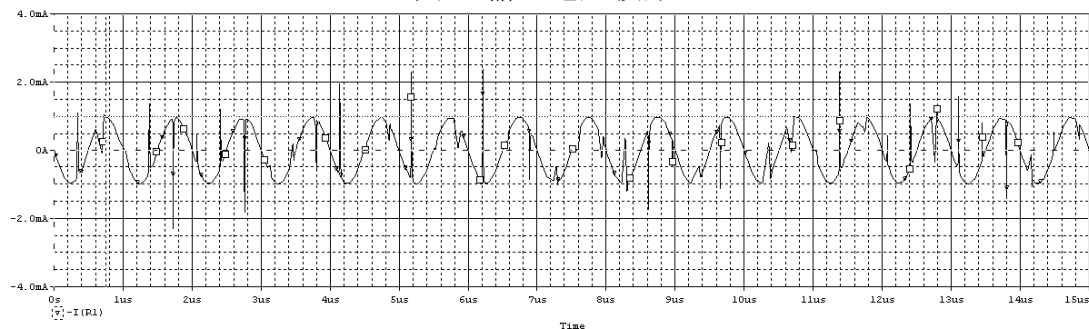


图 7 输入电流波形

由图 6 和图 7 可得输入电压电流幅值分别为：

$$V_{in} = 49.413mV$$

$$I_{in} = 0.9989mA$$

同理，对于不同的 RFV 的电压值，可得到相应的 V_{in} 、 I_{in} 以及输出 V_{IF} 值，如下表所示。

$V_{RF}(V)$	$V_{in}(mV)/I_{in}(mA)$	$V_{IF}(mV)$
0.1	49.4/0.99	27.1
0.3	142.4/2.91	83.9
0.4	193.2/3.83	110.6
0.5	290.6/5.04	138.5
0.6	300.5/5.70	167.4
0.8	396.3/7.37	225.2
1.0	502.3/8.68	271.1
1.1	550.2/10.3	308.9
1.2	603.3/11.5	334.8
1.3	636.6/12.5	361.4
1.4	684.2/14.1	388.0
1.5	710.1/15.9	406.6
1.6	728.2/17.3	425.2
2.0	760.0/23.4	468.4
2.5	782.3/34.8	488.4
3.0	797.6/44.7	508.3
3.5	812.9/54.0	518.2
5.0	844.2/83.2	542.2

对于输出中频（IF）功率，有计算公式：

$$P_{IF} = \frac{1}{2} \frac{V_{IF}^2}{R_L}$$

对于输入射频（RF）功率，有计算公式：

$$P_{in} = \frac{1}{2} V_{in} I_{in}$$

将其功率转化为 dBm 的表达式有：

$$dBm = 10 \log \frac{P(mW)}{1mW}$$

通过 MATLAB 仿真我们可以得到输入、输出功率(dBm)的关系图，如图 8 所示。

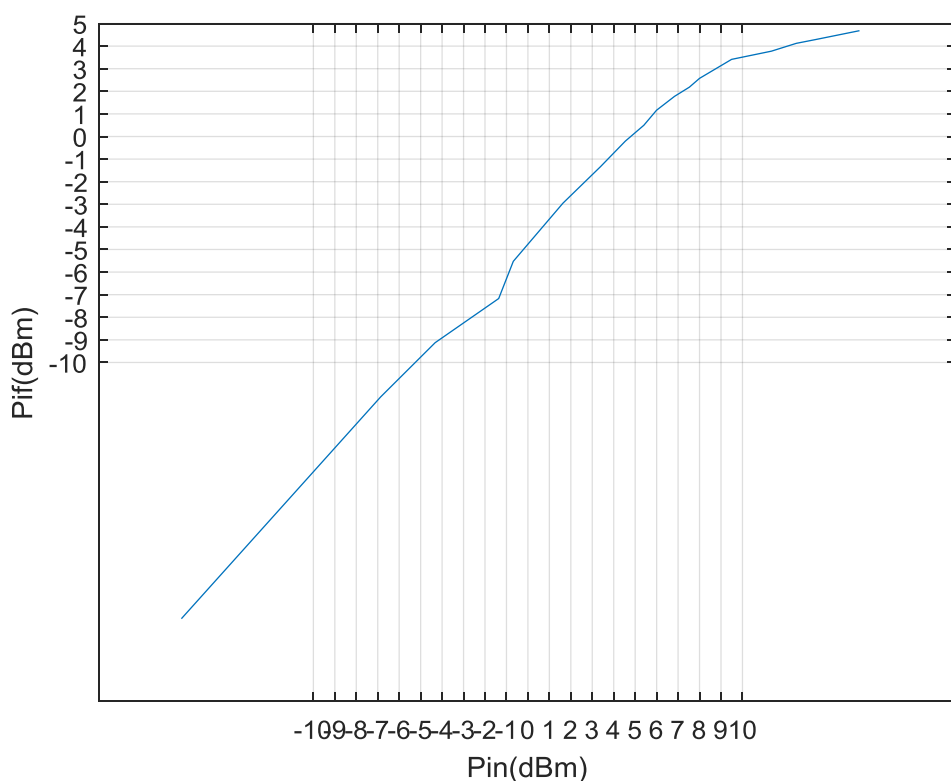


图 8

由上图可得，当输入功率超过一定值后，输入输出曲线就偏离了线性特征，由图 8 可以粗略的估计出 $P_{in,1dB} = 10dBm$ ， $P_{IF,1dB} = 4dBm$ ，同时根据上图，可以得到当输入功率 0dBm 时的中频输出功率值 $G(0dBm) = -4.9dBm$ 。

因为理论计算有

$$P_{IF,1dB}(dBm) = G(0dBm) - 1 + P_{in,1dB}(dBm)$$

将 $P_{in,1dB} = 10dBm$ ， $P_{IF,1dB} = 4dBm$ ， $G(0dBm) = -4.9dBm$ 代入上式，等式基本成立，因此，验证了估计结果。

对于混频器的互调失真，在本实验中只定性的分析当混频器输入端同时作用的两个频率不同的信号时，输出端的频谱与单信号输入时频谱的区别。在 RF 输入端加入两个信号源，选取两个信号的频率在 2MHz 左右，在这里分别选取 $f_1 = 1.9MHz$ ， $f_2 = 2.1MHz$ ，为了便于观察输出波形，其电压幅度为取 $V_{RF} = 2V$ 。

通过 PSpice 仿真，我们可以得到输出端 R_2 上的电压频谱图，如图 9 所示。

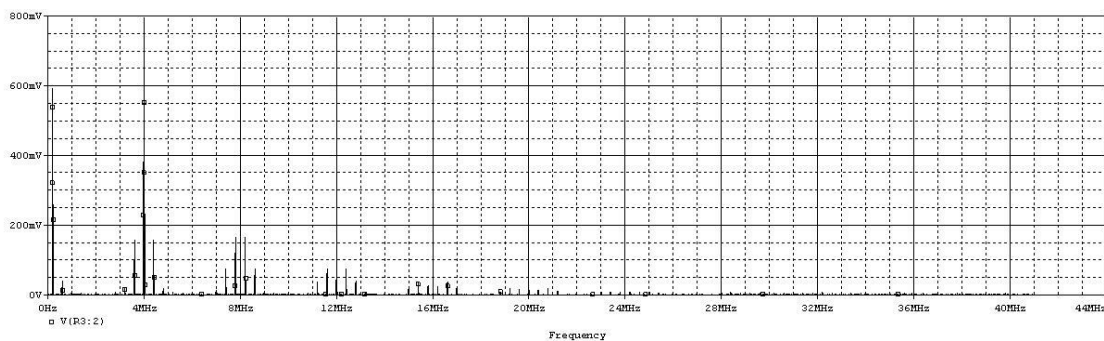


图 9 输出电压频谱图

由上图可知，在输入端有两个激励信号同时加入到混频器后，在输出的和频和差频附近出现了很多谐波分量，通过改变随着输入信号的电压幅度可以发现，随着输入电压的增大，输出的谐波分量也会增大。

在混频器的性能指标中，有一项重要的指标就是镜像频率干扰，例如在本实验中，因为 $f_{RF}=2MHz$ ， $f_{LO}=2.45MHz$ ， $f_{IF}=0.45MHz$ ，则根据镜像频率的概念有镜像频率为 $f_K=f_{RF}+2f_{IF}=2.9MHz$ 。

在 RF 输入端加入两个激励信号，频率分别为 $f_{RF}=2MHz$ ， $f_K=2.9MHz$ ，两个信号的电压幅度都选取 0.5V，则通过仿真，可以得到输出端的电压频谱如图 10 所示。

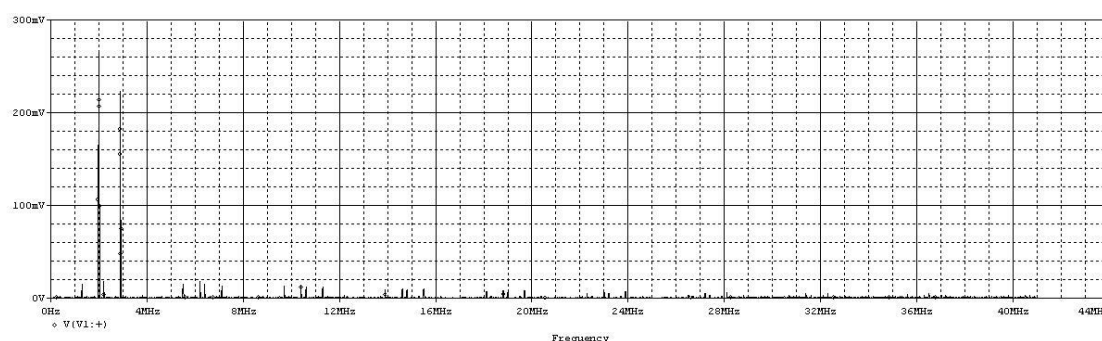


图 10 R2 输出电压频谱图

比较图 5 和图 10 的频谱图，发现在图 10 中，中频 $IF(f_{IF}=0.45MHz)$ 输出电压幅度有明显的增大，这是应为镜像频率通过混频器后，同样产生了 0.45MHz 的中频信号，使得对于输出造成干扰，因此，一般在通信系统中，混频器的 RF 输入端都会加一个镜像抑制滤波器，滤除镜像频率。

四、实验收获与体会(10 分)

本次实验电路连接无难度，只要把输入相关参数修改一下就可以了。

通过这次实验，我对混频器有了更深的了解，体会到所学知识的应用。对频域有了更深的理解。

在做仿真实验的时候，一定要复习课文，仿真实验基于课本，不熟悉原理就会无从下手。

认真仔细地做好实验纪录。不要当你真正用到它时才知它的重要所在。