

浙江大学

电路原理实验教程

指导老师：陈抗生

目录:

1	实验一 ——节点分析法解直流电路.....	4
1.1	实验目的.....	4
1.2	实验原理.....	4
1.3	实验内容.....	4
1.4	实验步骤.....	5
1.5	实验结果.....	7
1.6	实验结果验证（用 Pspice）.....	7
1.7	实验总结.....	11
1.8	补充实验一 ——网孔分析法.....	11
1.8.1	实验原理.....	11
1.8.2	实验内容.....	12
1.8.3	MATLAB 和 PSpice 参考答案.....	12
2	实验二——RLC 电路暂态响应分析.....	12
2.1	实验目的.....	12
2.2	实验原理.....	12
2.3	实验内容.....	13
2.4	实验步骤.....	13
2.5	实验结果.....	15
2.6	实验结果参考（PSpice 仿真）.....	16
2.6.1	实验内容.....	16
2.6.2	实验结果.....	17
2.7	实验总结.....	17
3	实验三 ——正弦交流稳态电路分析.....	18
3.1	实验目的.....	18
3.2	实验原理.....	18
3.3	实验内容.....	19
3.4	实验步骤.....	19
3.5	实验结果:.....	20
3.6	实验结果参考（PSpice AC sweep）.....	21
3.7	补充实验——三相电路分析.....	23
3.7.1	实验内容:.....	23
3.7.2	实验结果:.....	23
3.8	实验总结.....	23
4	实验四 ——二端口网络和幅频响应.....	23
4.1	实验目的.....	23
4.2	实验原理.....	24
4.3	实验内容.....	24
4.4	实验步骤.....	25
4.5	实验结果.....	26
4.6	实验总结.....	27
5	实验五 —— 认知晶体管特性.....	27
5.1	实验目的.....	27

5.2	实验原理.....	27
5.3	实验内容.....	28
5.4	实验步骤.....	28
5.5	实验结果.....	29
5.6	实验总结.....	30
5.7	补充实验 ——认知三极管 i-v 特性	30
5.7.1	实验内容	30
5.7.2	实验原理.....	30
5.7.3	实验参考答案.....	31
6	实验六 ——带有二极管的直流非线性电路	31
6.1	实验内容.....	31
6.2	实验原理.....	32
6.3	实验步骤.....	32
6.4	实验结果.....	32
6.5	实验总结.....	33
7	综合实验——共射放大电路的设计与仿真.....	33
7.1	实验目的.....	33
7.2	实验内容.....	34
7.3	实验步骤.....	34
7.3.1	在 PSPICE 中输入仿真分析电路图	34
7.3.2	仿真分析共射放大电路的静态工作点	35
7.3.3	当 $R_L=3\text{ k}\Omega$ 时, 分析电压放大倍数和相频特性.....	36
7.3.4	当 R_L 开路时, 分析电压放大倍数和频率特性	38
7.3.5	当 $R_L=3\text{ k}\Omega$ 时, 电压传输特性及最大不失真输出电压.....	38
7.4	实验结果.....	41
7.5	实验总结.....	41
7.6	实验思考题.....	41
8	附录.....	42
8.1	MATLAB 基本操作	42
8.1.1	Ode 函数——求微分方程的数值解	42
8.1.2	Freqs 函数——求频率响应	42
8.1.3	Polyfit 函数——最佳匹配多项式	42
8.2	实验一补充实验参考解答.....	43
8.2.1	MATLAB 求解	43
8.2.2	实验一 PSpice 求解参考	44
8.3	实验三 补充实验参考代码	45
8.4	实验五 补充实验参考答案	46
8.4.1	MATLAB 参考代码如下:	46
8.4.2	实验结果参考	47

1 实验一 ——节点分析法解直流电路

1.1 实验目的

- 1、掌握节点分析法原理——基尔霍夫定律
- 2、掌握 matlab 解直流电路的方法
- 3、通过 Pspice 仿真进一步证实 matlab 的实验结果
- 4、熟悉 matlab 和 Pspice 两个软件的基本操作。

1.2 实验原理

根据基尔霍夫电流定律,对于任何电路回路,进出任何一个节点的电流代数和为零。在节点分析法中,如果电路中含有 n 个节点,我们选择一个参照节点,则其他的节点可以标注为 V_1 到 V_{n-1} ,除了参照节点,我们还可以列出 $n-1$ 个独立的方程。假设位于节点 i 和 j 之间的电导 (admittance) 为 Y_{ij} ,那么这 $n-1$ 个独立的方程为:

$$\begin{aligned}
 Y_{11} V_1 + Y_{12} V_2 + \dots + Y_{1m} V_m &= \sum I_1 \\
 Y_{21} V_1 + Y_{22} V_2 + \dots + Y_{2m} V_m &= \sum I_2 \\
 Y_{m1} V_1 + Y_{m2} V_2 + \dots + Y_{mm} V_m &= \sum I_m \dots\dots\dots (1.1)
 \end{aligned}$$

这里 $m=n-1$

V_1, V_2, \dots, V_m 是各个节点的参照电压。

方程组 (1.1) 可以写成矩阵的形式如下:

$$[Y][V]=[I] \dots\dots\dots(1.2)$$

$$\text{这里用 matlab 软件可以解除: } [V]=[Y]^{-1} [I] \dots\dots\dots(1.3)$$

1.3 实验内容

求解图 1.1 电路的各节点电压

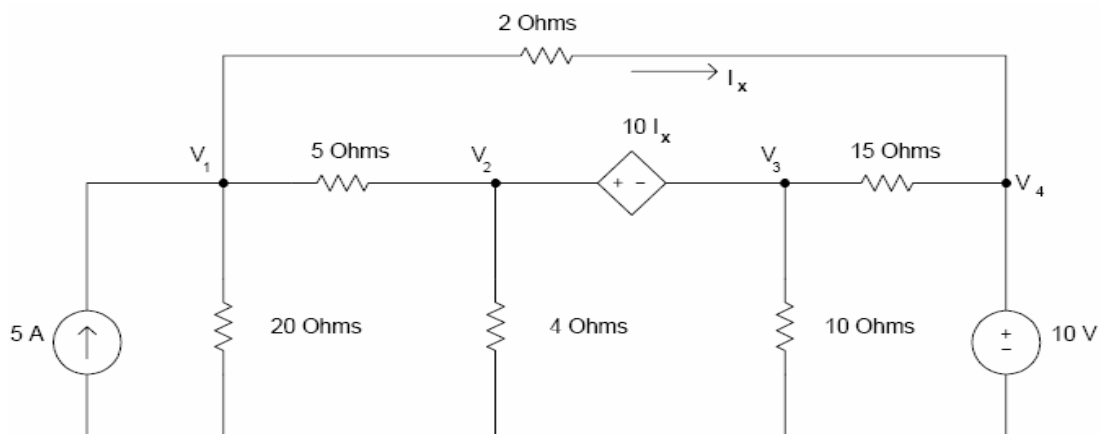


图 1.1 带独立源和非独立源的电路

1.4 实验步骤

1、在节点 1 处，我们有：

$$\frac{V_1 - V_2}{10} + \frac{V_1 - V_3}{20} - 5 = 0$$

简化后为：

$$0.15V_1 - 0.1V_2 - 0.05V_3 = 5$$

2、在其他节点处我们同样可以列出类似的方程

$$\frac{V_2 - V_1}{10} + \frac{V_2}{50} + \frac{V_2 - V_3}{40} = 0$$

简化后为：

$$-0.1V_1 + 0.145V_2 - 0.025V_3 = 0$$

$$\frac{V_3 - V_1}{20} + \frac{V_3 - V_2}{40} - 2 = 0$$

简化后为：

$$-0.05V_1 - 0.025V_2 + 0.075V_3 = 2$$

我们又知道 $V_4 = 10 \text{ V}$

3、据以上方程列出矩阵形式：

$$\begin{bmatrix} 0.15 & -0.1 & -0.05 \\ -0.1 & 0.145 & -0.025 \\ -0.05 & -0.025 & 0.075 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix}$$

4、根据上面的方程编写 matlab 程序 DC1_1.m

```

% this program computes the nodal voltages
% given the admittance matrix Y and current vector I
% Y is the admittance matrix
% I is the current vector
% initialize the matrix y and vector I using YV=I
clear;
Y = [0.75 -0.2 0 -0.5;-5 1 -1 5;-0.2 0.45 0.166666667 -0.066666667;0 0 0 1];
% current vector is entered as a transpose of row vector
I = [5 0 0 10]';
% solve for nodal voltage
fprintf('Nodal voltages V1,V2,V3,V4 are \n')
V = inv(Y)*I
    
```

- 5、打开 matlab 程序（关于 matlab 的一些基本操作请参考[附录——MATLAB 基本操作](#)），将上面的程序输入 m 文件并保存，如下图 1.2

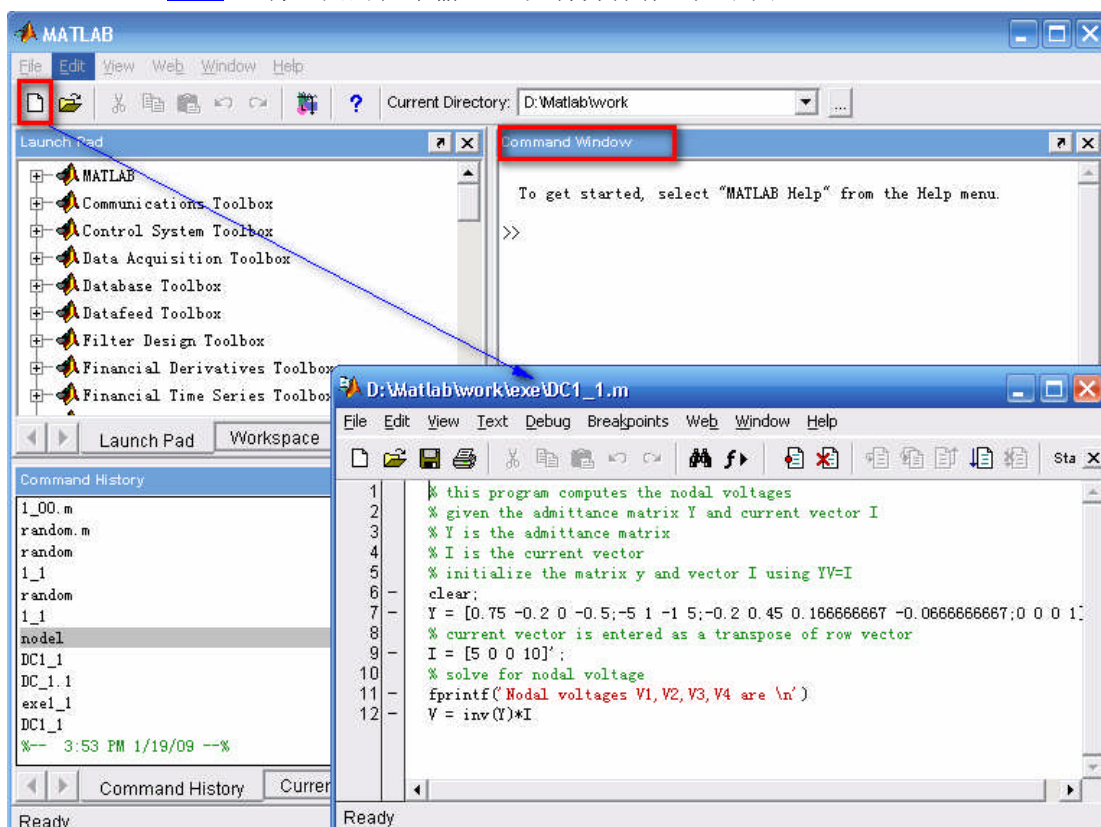


图 1.2 启动 matlab 并新建 m 文件

- 6、运行程序，在命令窗口里输入刚刚新建的 matlab 程序名，即
 >>DC1_1 如下图 1.3 所示

注意：在执行 m 文件时不需要加文件名后缀“.m”。同时注意选择文件的正确存储路径。

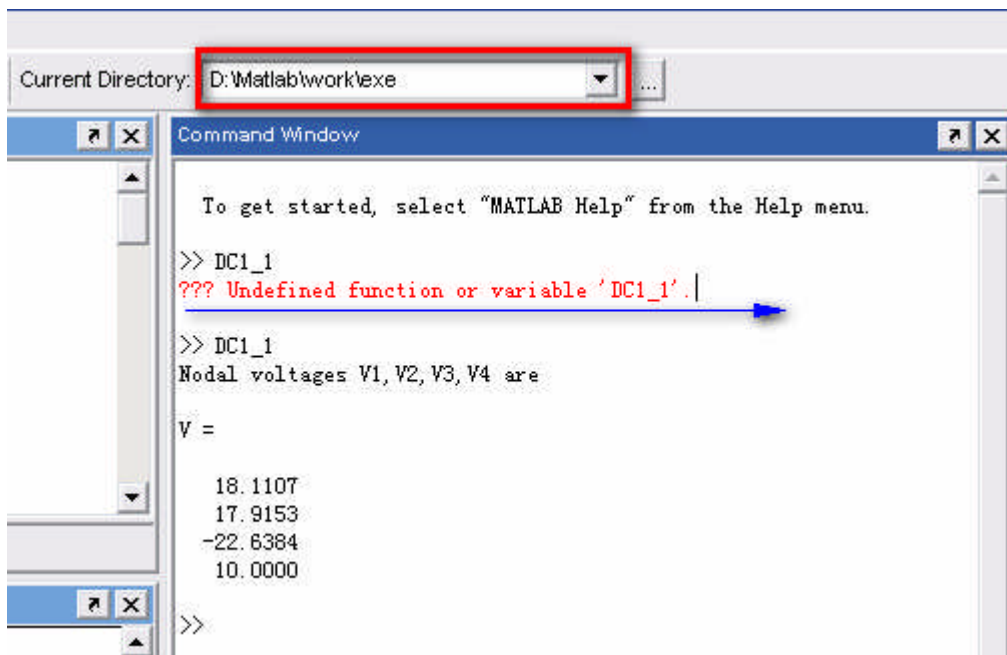


图 1.3 在命令窗口运行 m 文件的结果

1.5 实验结果

通过 matlab 我们得到四个节点处的电压分别是 $V=18.1107, 17.9153, 22.6384, 10.0000$ 。

1.6 实验结果验证（用 Pspice）

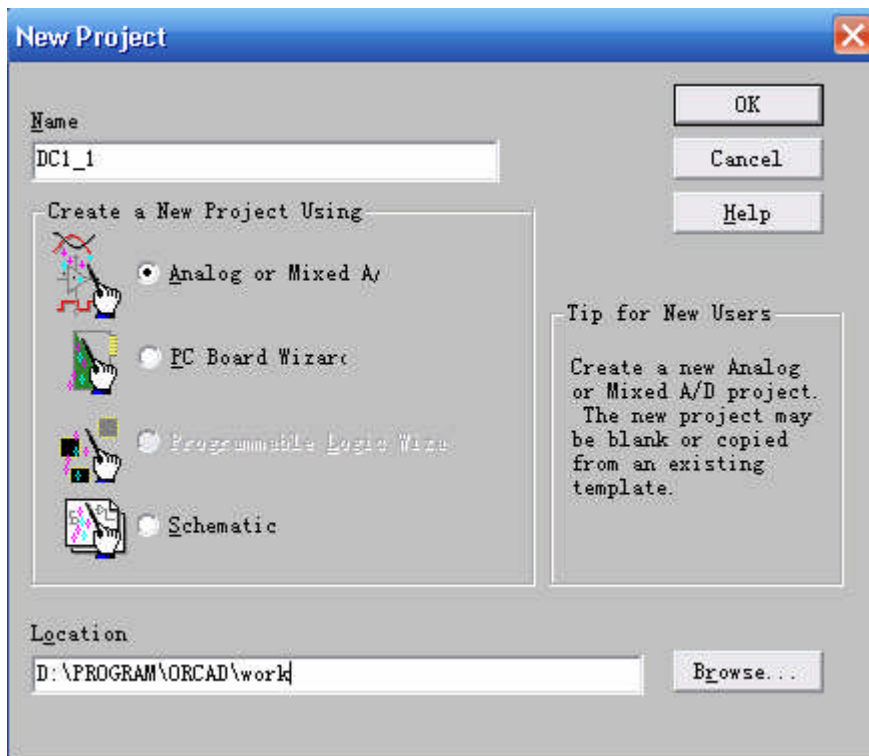
为了验证 matlab 的运算结果，我们可以利用 Cadence 公司的软件 PSpice 进行电路级仿真，从而直观地看到以上 4 个节点的电压值，具体操作如下：

- 1、启动 capture CIS：执行：开始->程序->Orcad Family Release 9.2->Capture CIS，从而启动 Capture 程序，如图 1.4 所示：






图 1.4 Capture 的基本操作界面

- 2、创建新的 Project，在菜单栏里选择 File-> New -> Project，命名为 DC1_1,并在 Create a New Project Using 一栏里选择 “Analog or mixed-Signal Circuit”，这是为了在画完原理图后可以仿真。并为新建的文件指定一个 Location。如图 1.5 所示：



- 3、如果是第一次用该软件，请加载相应的库文件，执行 Place -> Part 命令，打开取放元件的对话框，单击 Add Library 按钮，将库文件夹中 Analog 和 Source 两个元件库载入，本题所涉及的所有元件都在这两个库里。
- 4、根据图 1.1 的电路图，放置相应的元器件和电源，执行 Place -> Part 命令或者

在侧边工具栏里单击  添加元件

- a) 在搜索 R 添加电阻
- b) 搜索 V 并选择 VDC 添加直流电压源
- c) 搜索 I 并选择 IDC 添加直流电流源
- d) 搜索 H 添加电流控制电压源 (F 是电流控制电流源, E 是电压控制电压源, G 是电压控制电流源)
- e) 在侧边工具栏里单击  并选择 0 添加接地符号 (注意此接地符号必须添加, 为了设置参考电压, 这是和原电路图一点不一样的地方)
- f) 在侧边工具栏里单击  将上述元件按照电路图的样子连接起来, 注意电流控制电压源 H 的连接, 务必使电流方串联入 Ix 的电路里。
- g) 元件属性编辑, 单击任何一个元件的符号和值都可以进行相应的改动, 或者选中整个电路右键选择 Edit Properties 查看所有元件的属性, 如下图 1.6 所示: 注意设置电流控制电压源的增益系数 Gain 为 10

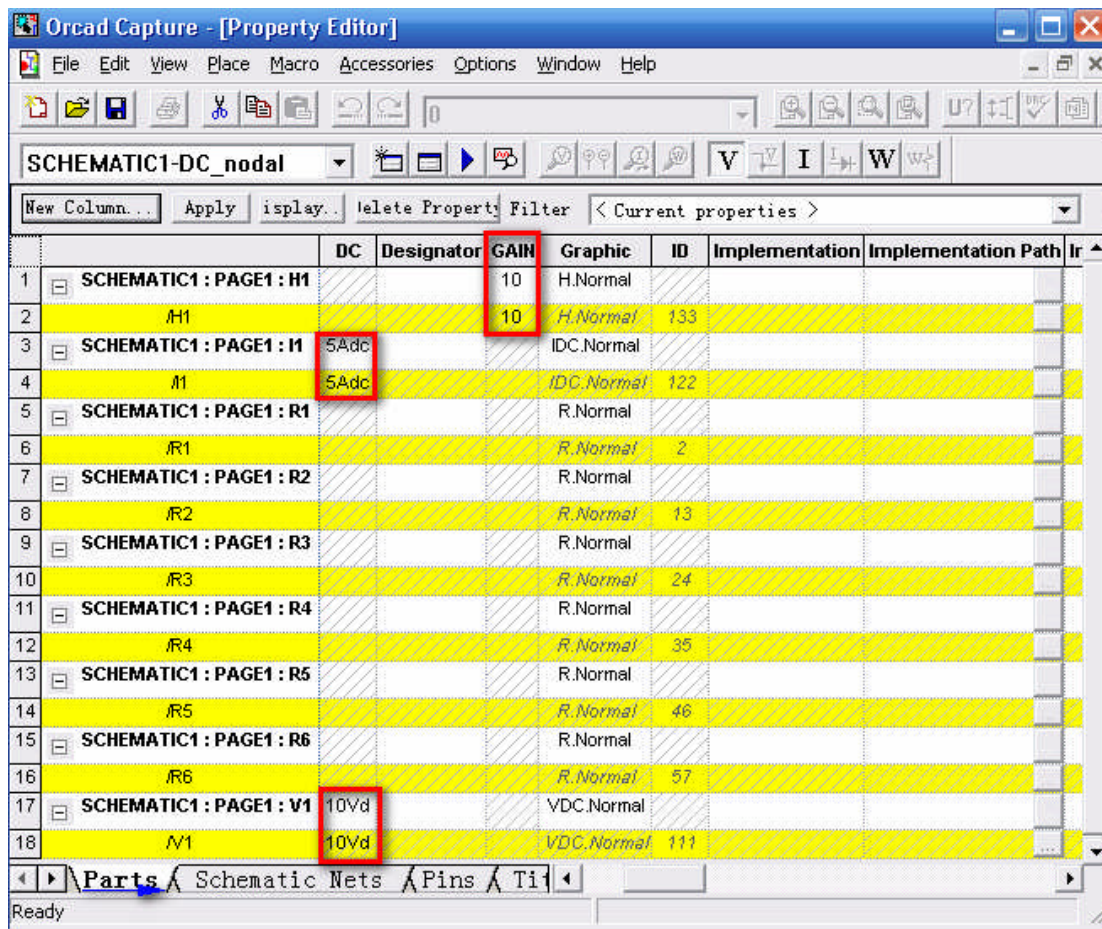


图 1.6 设置元器件的属性

h) 保存电路图，完成的电路图如下图 1.7 所示

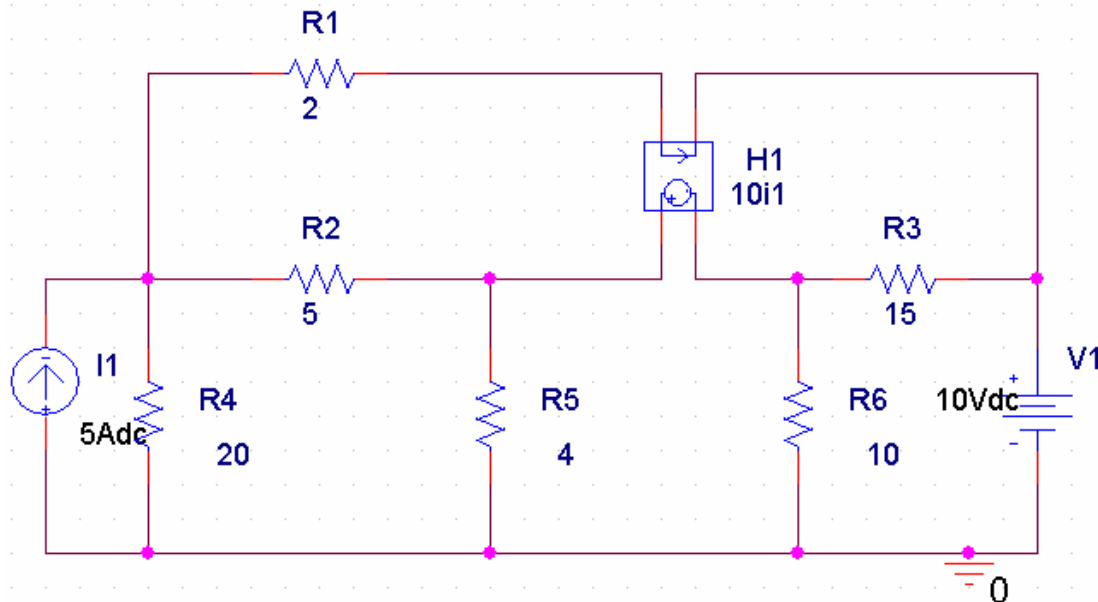


图 1.7 完成后的电路图

i) 单击 创建仿真文件，输入文件名后单击 Creat 打开仿真对话框如下图 1.8 所示，本题仿真选择 Bias Point 分析。

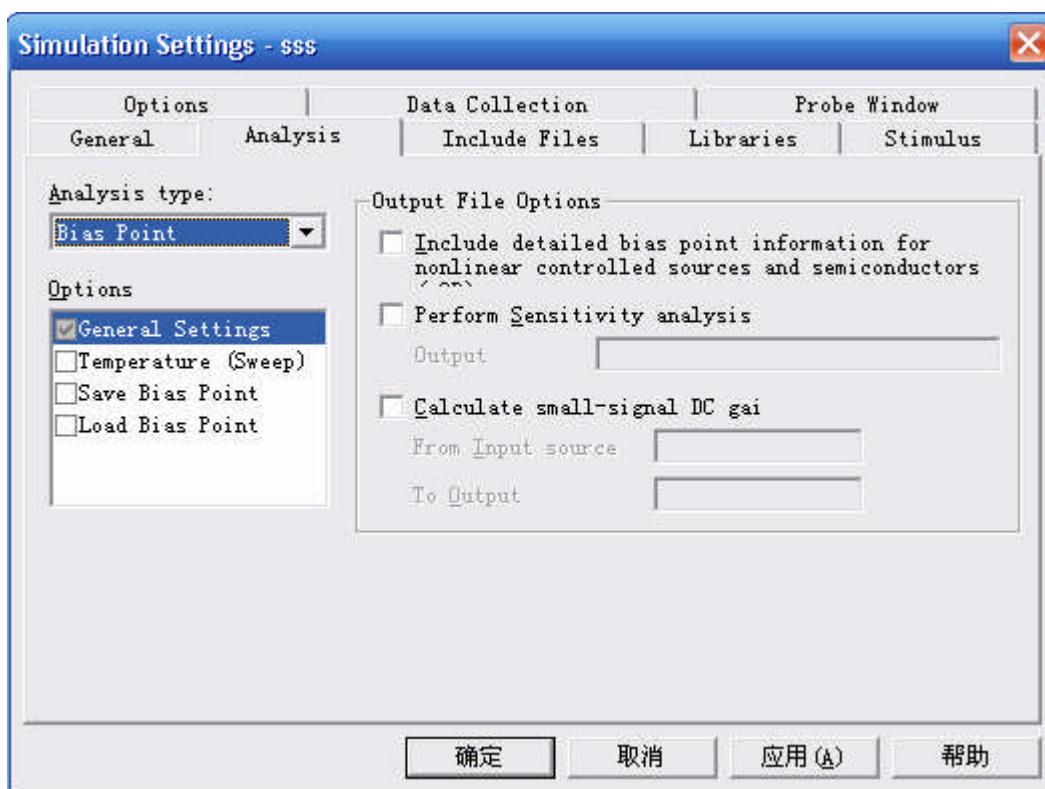

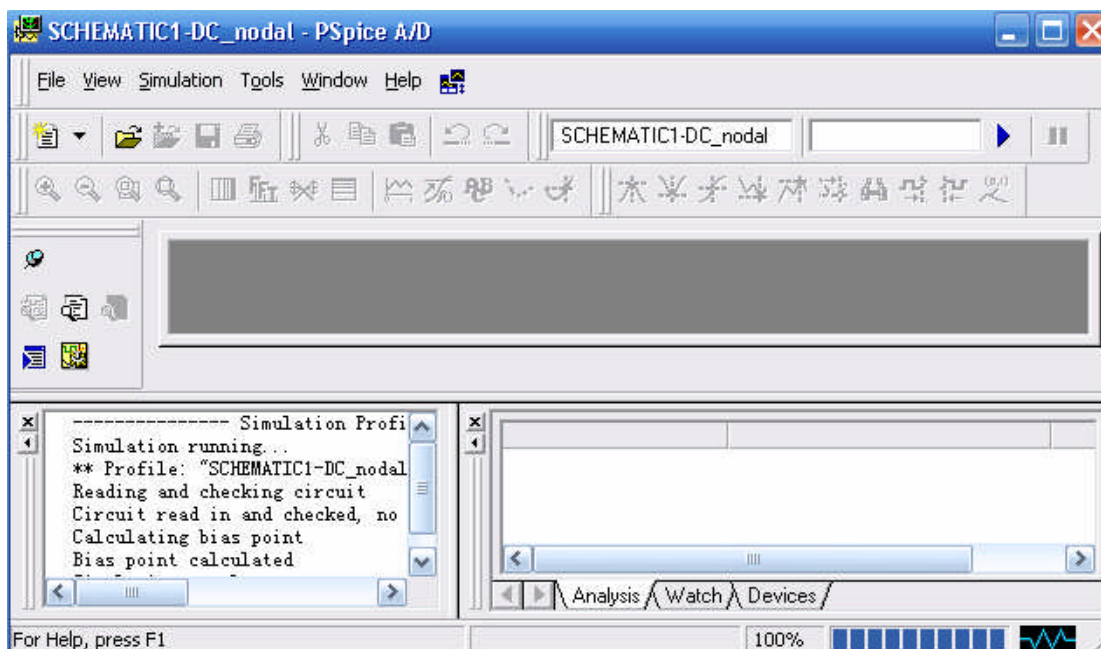


图 1.8 创建仿真文件

- j) 单击确定回到原理图界面，并单击仿真按钮，进行仿真，如下图 1.9，单击 V 按钮既可以查看各个节点处的电压值，如果还要观察电流值可以同时按下 I 按钮。



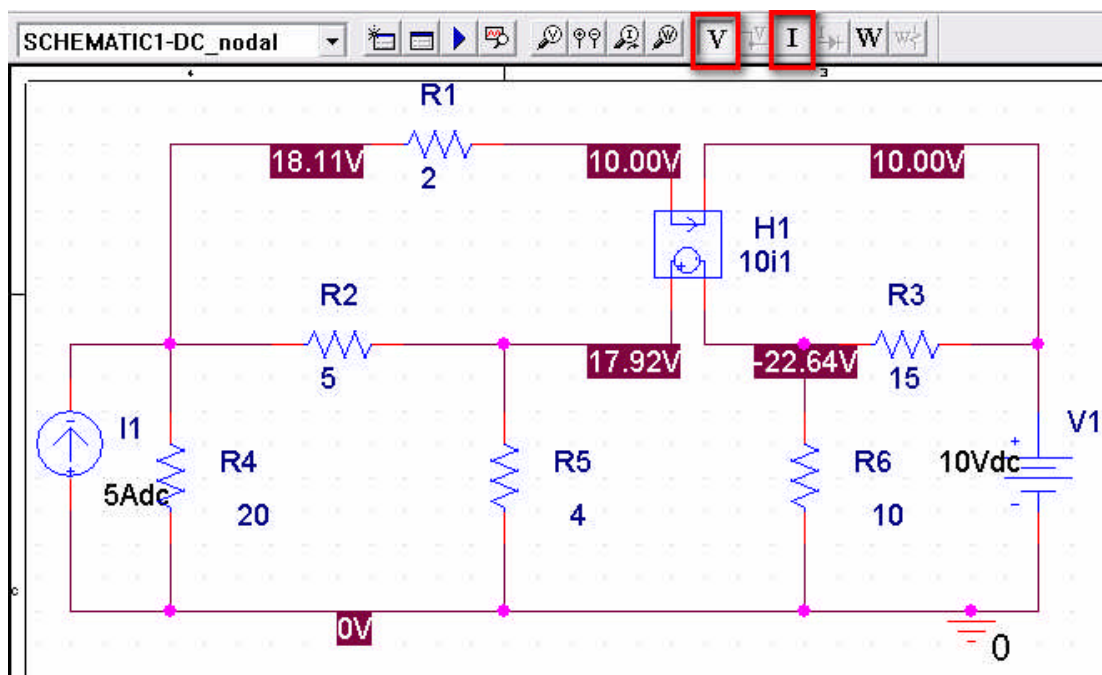


图 1.9 仿真后的结果

- k) 通过 PSpice 的仿真, 从上图 1.9 中我们可以看到四个节点的电压值分别是 18.11, 17.92, 22.64, 10.00, 可以看到和 matlab 的结果有着很好的吻合。从而互相证实了两种实验方法的正确性。

1.7 实验总结

- 1、这是一个非常简单的电路, 我们通过笔算也能得到问题的答案, 但是在此通过 matlab 解决是为了寻求一种直流电路问题的解决方式。正是由于基尔霍夫方程组的存在和 matlab 对矩阵的优秀处理能力使得我们能够解决复杂电路的基本参数。
- 2、同时通过 Pspice 仿真进一步证实了 matlab 的实验结果
- 3、通过两种方法分别熟悉了 matlab 和 Pspice 两个软件的基本操作。

1.8 补充实验一 ——网孔分析法

1.8.1 实验原理

网孔分析法是通过基尔霍夫电压定律 (KVL) 列出一系列独立方程从而得到环路电流的方法, 根据 KVL, 我们知道闭合沿环路一周的电压代数数和为 0。

对于一个有 n 个网孔的平面电路, 我们可以列出 $n-1$ 个独立的方程, 如下

$$Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 + Z_{13}I_3 + \dots Z_{1n}I_n = \sum V_1$$

$$Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 + Z_{23}I_3 + \dots Z_{2n}I_n = \sum V_2$$

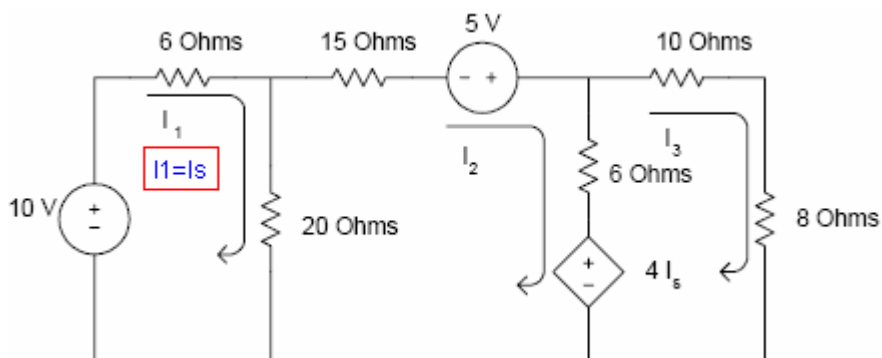
$$Z_{n1}I_1 + Z_{n2}I_2 + Z_{n3}I_3 + \dots Z_{nn}I_n = \sum V_n$$

写成矩阵的形式为： $[Z][I] = [V]$

MATLAB 求解为： $I = \text{inv}(Z) * V$

1.8.2 实验内容

利用网孔分析法求解图 1.10 电路中 8 欧姆电阻上消耗的功率，并求出 10V 电压源所提供的电流 I_1 。



1.8.3 MATLAB 和 PSpice 参考答案

[见附录——补充实验一参考答案](#)

2 实验二——RLC 电路暂态响应分析

2.1 实验目的

- 1、掌握 RLC 暂态响应电路的基本分析原理——三要素法
- 2、熟悉 MATLAB 求解 RLC 电路的响应过程
- 3、熟悉 PSpice 仿真暂态响应电路的基本原理

2.2 实验原理

- 1、对于一个 RC 电路如下图 2.1，我们根据 KCL 我们可以列出以下方程：

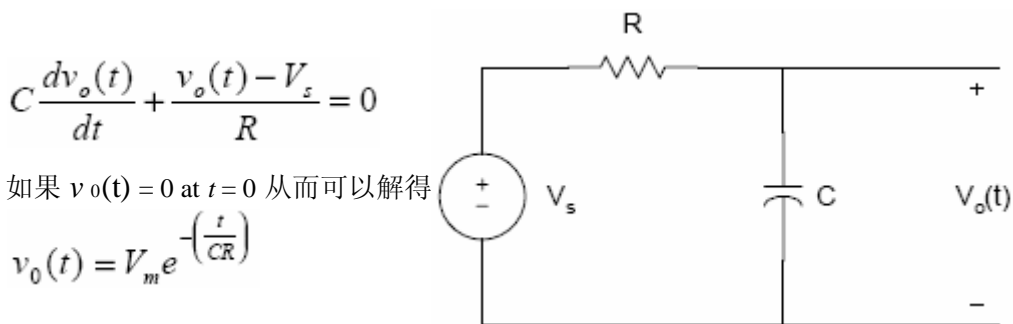


图 2.1 RC 电路

2、同理，对于一个 RL 电路如下图 2.2，我们同样可以根据 KVL 列出以下方程：

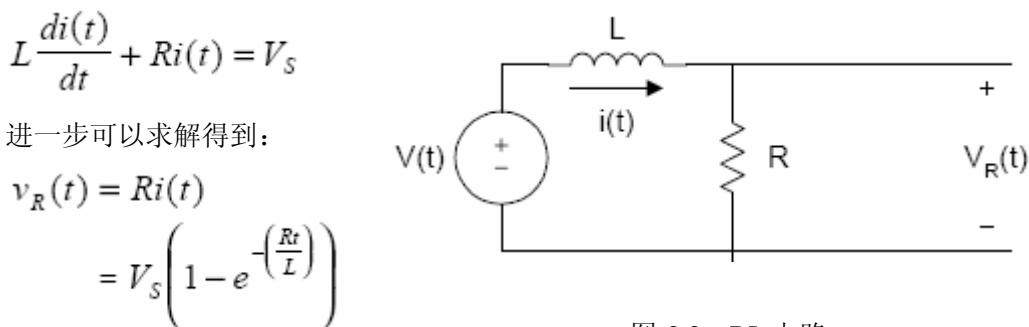


图 2.2 RL 电路

3、由于 MATLAB 具有求解微分方程的能力，我们可以讲 RLC 电路中的方程化简为一阶微分方程组的形式，通过 ode23 或这 ode45 函数来求解方程组的数值解，进而得到暂态响应过程中的电路参数。

2.3 实验内容

对于图 2.3 电路，已知 $V_s(t) = 5u(t)$ ，其中 $u(t)$ 为单位阶跃函数，且 $R_1 = R_2 = R_3 = 10K$ 欧， $C_1 = C_2 = 5\mu F$ ， $L = 10H$ ，求出 V_0 的数值解并画出在 0 至 2s 内的 $V_0(t)$ 的图形（ $V_0(t)$ 即途中的 $y(t)$ ，有关解析解的解法请参考陈老师教材《电路原理》）

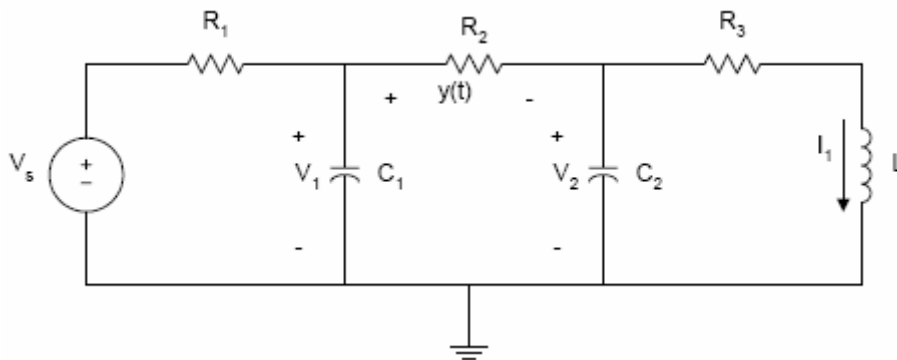


图 2.3 电路

2.4 实验步骤

1、根据 KCL 和 KVL 方程我们列出以下方程组：

$$C_1 \frac{dv_1(t)}{dt} + \frac{V_1 - V_s}{R_1} + \frac{V_1 - V_2}{R_2} = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$C_2 \frac{dv_2(t)}{dt} + \frac{V_2 - V_1}{R_2} + i_1 = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$V_2 = i_1 R_3 + L \frac{di_1(t)}{dt} \quad \dots\dots\dots(3)$$

并且我们知道 $y(t) = v_1(t) - v_2(t)$

化简(1)(2)(3)式我们得到下面的方程组：

$$\frac{dv_1(t)}{dt} = -\left(\frac{1}{C_1 R_1} + \frac{1}{C_1 R_2}\right) V_1 + \frac{V_2}{C_1 R_2} + \frac{V_s}{C_1 R_1}$$

$$\frac{dv_2(t)}{dt} = \frac{V_1}{C_2 R_2} - \frac{V_2}{C_2 R_2} - \frac{i_1}{C_2}$$

$$\frac{di_1(t)}{dt} = \frac{V_2}{L} - \frac{R_3}{L} i_1$$

- 2、通过 MATLAB 的 [ode 函数](#)（参考附录 [ode 函数](#)）我们可以求解上面的方程组
 带入题中给出的已知参数，将上面的方程组写为：

$$\frac{dv_1(t)}{dt} = -40v_1(t) + 20v_2(t) + 20V_s$$

$$\frac{dv_2(t)}{dt} = 20v_1(t) - 20v_2(t) - i_1(t) * 200000$$

$$\frac{di_1(t)}{dt} = 0.1v_2(t) - 1000i_1(t)$$

为此我们首先根据上面的方程组编写一个 MATLAB 函数 diff3.m，程序如下：

```

% the name of the m-file is diff3.m
%最后一步操作，为了保证 dv 返回的是一个列向量，否者会出错
function dv = diff3(t,v)
dv(1) = -40*v(1) + 20*v(2) + 20*5;
dv(2) = 20*v(1) - 20*v(2) - 200000*v(3);
dv(3) = 0.1*v(2) - 1000*v(3);
dv=[dv(1);
    dv(2);
    dv(3)];
    
```

- 3、编写 MATLAB 主程序，首先给出初始条件，我们知道在 t=0 时刻，v1,v2,i1 均为 0，
 选择画图时间轴为 0-2 秒，编写如下的程序：

```
% the name of the m-file is RLC1.m
% Transient analysis of RLC circuit using state
clear;
t0 = 0;
tf = 2;
tspan=[t0 tf];      % 设置时间段
x0 = [0 0 0]; % initial conditions      % 设置初始条件
[t,x] = ode23('diff3',tspan,x0);      % 求解向量 x, 即 V
tt = length(t);
for i = 1:tt
    vo(i) = x(i,1) - x(i,2);          % 求解 V0
end
plot(t, vo, '-r')
title('Transient analysis of RLC')
xlabel('Time, s'), ylabel('Output voltage')
```

2.5 实验结果

运行 MATLAB 并画出结果图，如下图 2.4

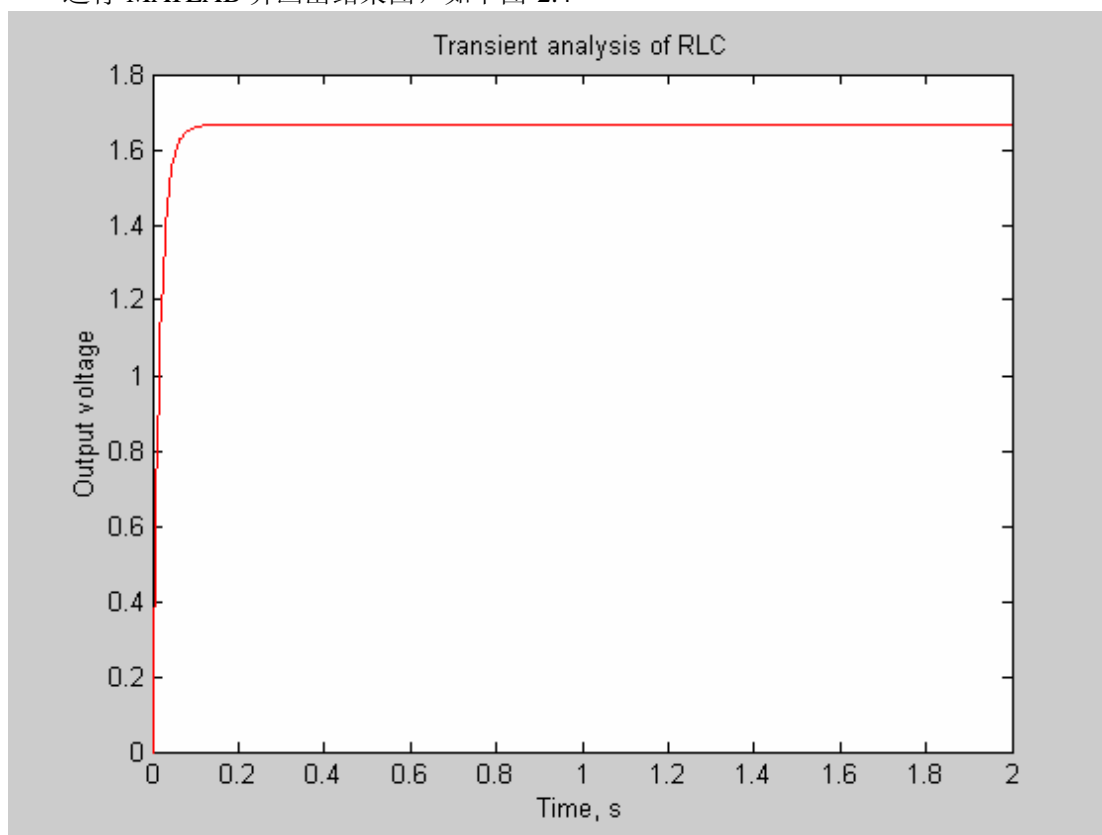



图 2.4 0-2s 内的 V0 的暂态响应过程

2.6 实验结果参考 (PSpice 仿真)

有关 PSpice 软件的基本操作请参考实验一

2.6.1 实验内容

1、绘制电路图如下图 2.5 所示，其中需要说明的是：

- 电路中的阶跃函数我们采用直流电压源和一个初始状态为开的开关等效。在此我们需要添加 ANL_MISC 库文件，然后选择 Sw_tClose 元件即是下图的开关。
- 为了测量 R2 两端的电压我们选择  按钮在 R2 两端添加两个电压探针。

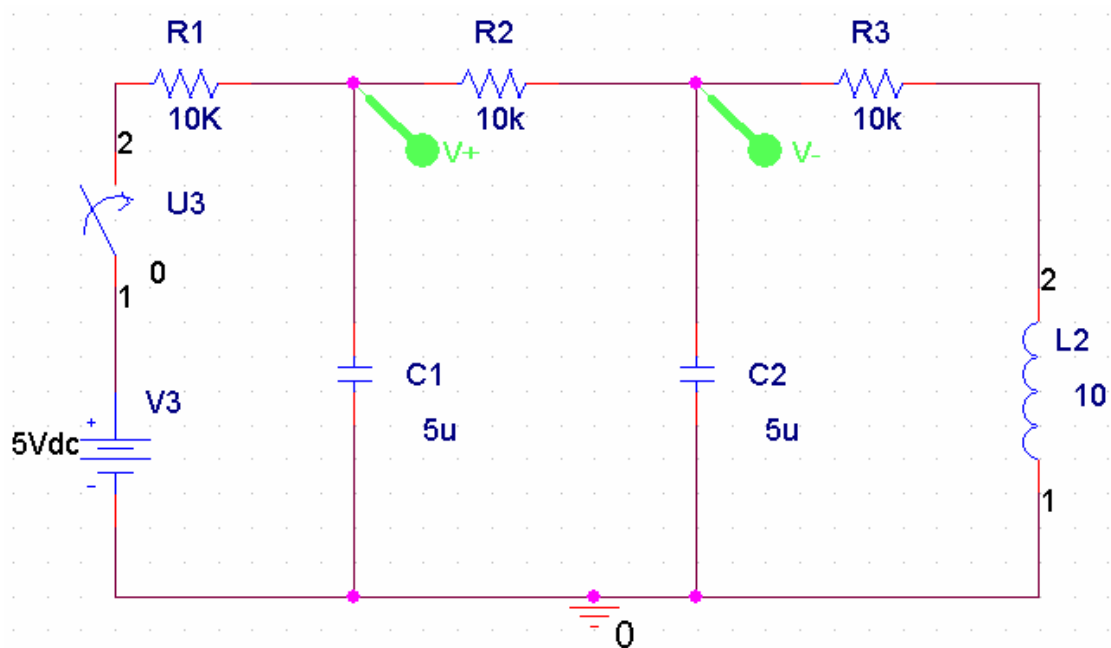



图 2.5 PSpice 仿真电路图

- 2、保存电路原理图，创建仿真文件。单击  创建仿真文件，输入文件名后单击 Creat 打开仿真对话框如下图 2.6：本题选择 Time Domain 仿真模式，仿真时间从 0 开始到 2s 结束。

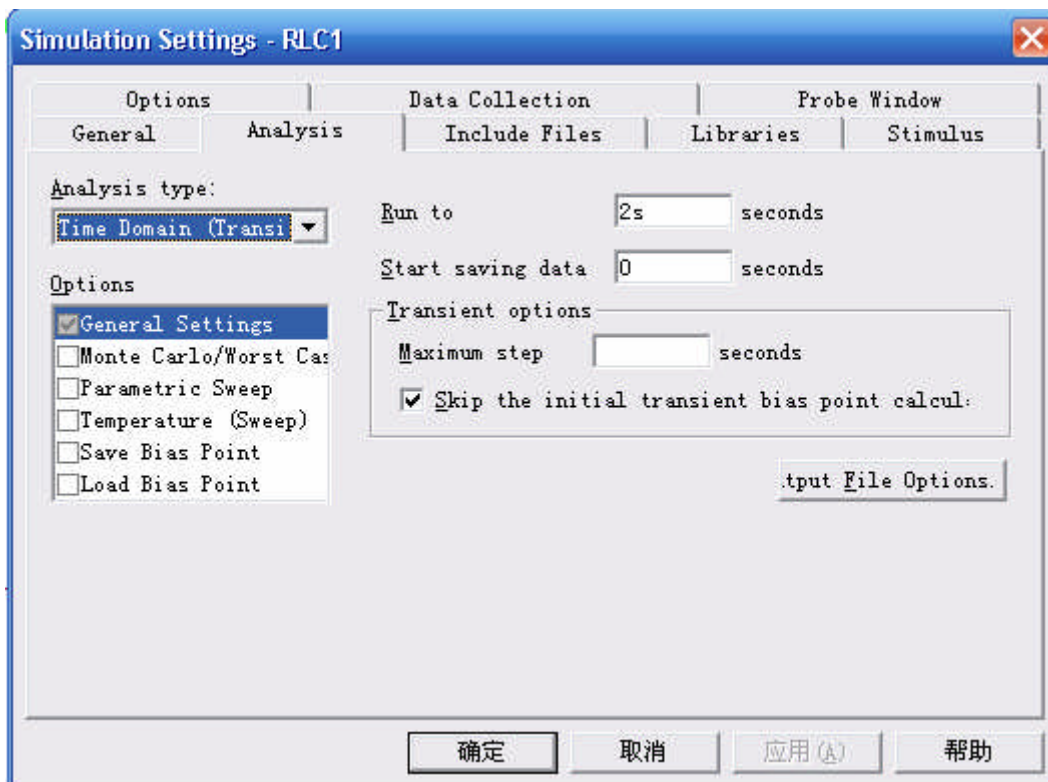


图 2.6 仿真文件设置

2.6.2 实验结果

点击确定回到原理图界面，单击  仿真按钮，仿真结果如下图 2.7 所示：

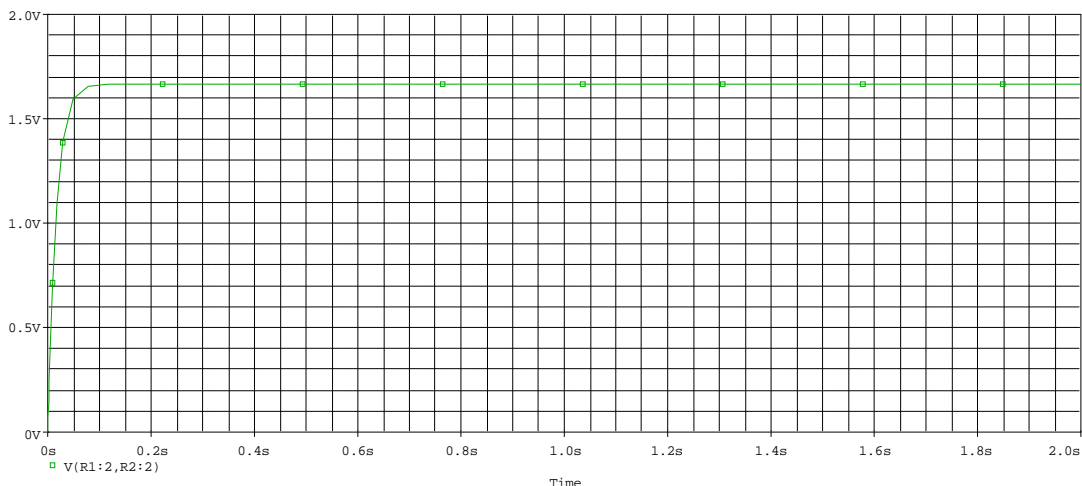


图 2.7 PSpice 仿真结果

2.7 实验总结

- 1、通过 MATLAB 的 ode 函数掌握了求解微分方程组的方法，同时结合暂态响应电路，掌握了如何求解此类电路的数值解

- 2、通过 PSpice 仿真，进一步熟悉了 PSpice 仿真软件的使用以及暂态响应分析仿真的方法
- 3、通过两个实验互相验证了彼此实验结果的正确性
- 4、通过手工分析我们也可以验证这样一条曲线的合理性，一开始电压为零，通电后很快给电容充电到达电压最高值，此时三个电阻平分 5V 的电压，于是最终电压稳定在 1.6666V。

3 实验三 —— 正弦交流稳态电路分析

3.1 实验目的

- 1、理解正弦交流稳态电路的频域分析方法
- 2、掌握如何用 MATLAB 求解此类电路。
- 3、熟悉三相电路的分析方法

3.2 实验原理

- 1、对于一个网络，我们可以利用时域分析从而求得相应的电压和电流，但是对于正弦交流电路这往往要涉及到求解微分方程，所以如果用频域表达式将微分方程化简为代数方程就会简易很多。

- 2、对于电压 $v(t) = V_m e^{\sigma t} \cos(\omega t + \theta)$

可以写成 $V(t) = \text{Re} (V_m * e^{\sigma t} * e^{j(\omega t + \theta)})$

则频域中的相位为： $V = V_m e^{j\theta} = V_m \angle \theta$

则复频率为： $s = \sigma + j\omega$

对于一个纯的 sin 函数 $v_2(t) = V_{m2} \cos(\omega t + \theta_2)$

则相位为： $V_2 = V_{m2} e^{j\theta_2} = V_{m2} \angle \theta_2$

复频率为： $s = j\omega$

- 3、对于电压和电流我们按照上面的规则进行频域转换，对于其他电路元件的转换参考下表 3.1

表 3.1 阻抗和导纳

电路元件	阻抗	电抗	导纳	电纳
电阻	R	—	$G = \frac{1}{R}$	—
电感	$j\omega L$	ωL	$-j \frac{1}{\omega L}$	$-\frac{1}{\omega L}$
电容	$-j \frac{1}{\omega C}$	$-\frac{1}{\omega C}$	$j\omega C$	ωC

如果电路元件电流的参考方向是电压升的方向，那么电压和电流的关系式中就要加负号。

3.3 实验内容

对于下图 3.1，已知 $R_1=20$ 欧姆， $R_2=100$ 欧姆， $R_3=50$ 欧姆， $L_1=4H$ ， $L_2=8H$ ， $C_1=250\mu F$ ，当 $\omega=10$ rad/s 时求解 $V_3(t)$

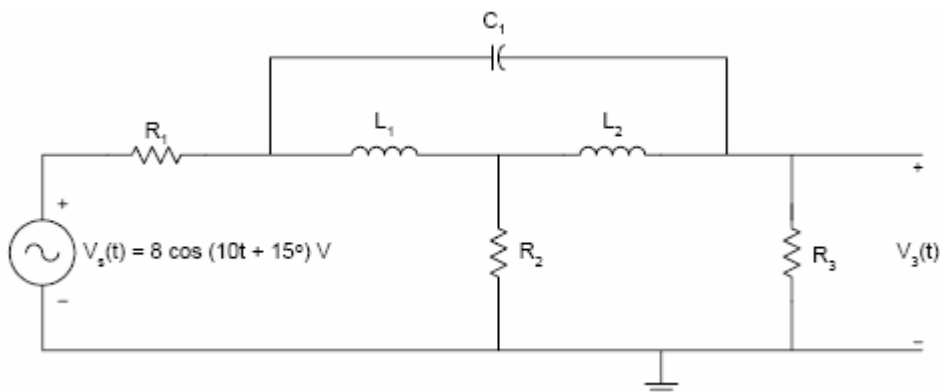
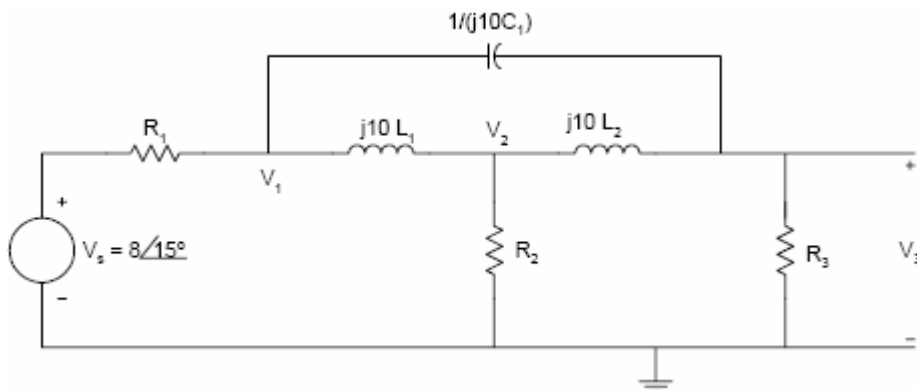


图 3.1 正弦稳态交流电路

3.4 实验步骤

1、对电路做频域转换，转换后的电路图如下图 3.2



2、对于节点 1，我们列出方程：

$$\frac{V_1 - V_s}{R_1} + \frac{V_1 - V_2}{j10L_1} + \frac{V_1 - V_3}{1/(j10C_1)} = 0$$

对于节点 2:

$$\frac{V_2 - V_1}{j10L_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_2 - V_3}{j10L_2} = 0$$

对于节点 3:

$$\frac{V_3}{R_3} + \frac{V_3 - V_2}{j10L_2} + \frac{V_3 - V_1}{1/(j10C_1)} = 0$$

3、代入题目中的已知数值，并化简上面的方程我们可以得到下面的矩阵:

$$\begin{bmatrix} 0.05 - j0.0225 & j0.025 & -j0.0025 \\ j0.025 & 0.01 - j0.0375 & j0.0125 \\ -j0.0025 & j0.0125 & 0.02 - j0.01 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4 \angle 15^\circ \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

上面的矩阵可以写成: $[Y][V] = [I]$

则可以求得: $V = \text{inv}(Y) * I$

4、根据上面的矩阵编写 MATLAB 程序如下:

```
%this file is named AC1.m
%Y is the admittance matrix; % I is the current matrix
% V is the voltage vector
Y = [0.05-0.0225*j    0.025*j    -0.0025*j;
     0.025*j          0.01-0.0375*j    0.0125*j;
     -0.0025*j        0.0125*j    0.02-0.01*j];
c1 = 0.4*exp(pi*15*j/180);
I = [c1
     0
     0]; % current vector entered as column vector
V = inv(Y)*I; % solve for nodal voltages
v3_abs = abs(V(3));
v3_ang = angle(V(3))*180/pi;
fprintf('voltage V3, magnitude: %f \n voltage V3, angle in degree:%f', v3_abs,
v3_ang)
```

3.5 实验结果:

运行 MATLAB, 得到如下结果:

```
>> AC1
voltage V3, magnitude: 1.850409
voltage V3, angle in degree:-72.453299
```

3.6 实验结果参考 (PSpice AC sweep)

1、在 PSpice 设计窗口中输入电路图，这里的电压源选择 sin 电压源，并设置参数如下，我们将 $w=10$ 转化成 $f=10/2\pi=1.5915$ ，并选择电压幅度探针和电压相位探针放置在 R6 上方。如下图 3.5 所示：

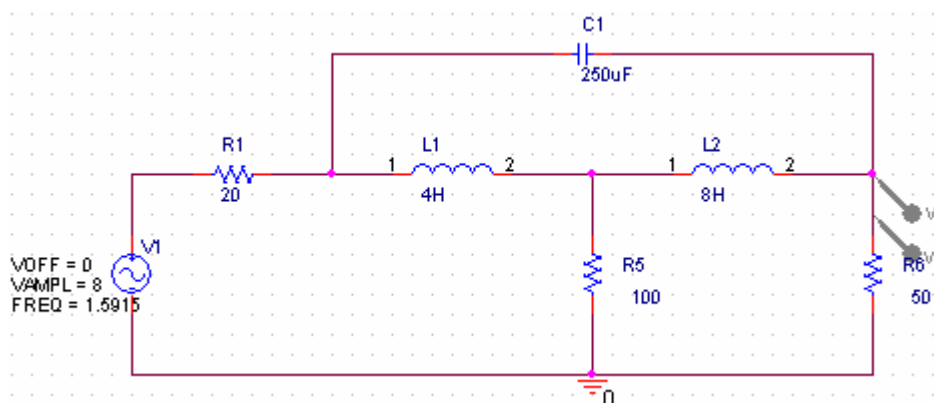



图 3.5 实验电路图

2、点击  新建一个 AC1 仿真文件，同时选择 AC Sweep，具体设置如下图 3.6 所示：这里我们只仿真在 $f=1.5915\text{Hz}$ 处的参数。

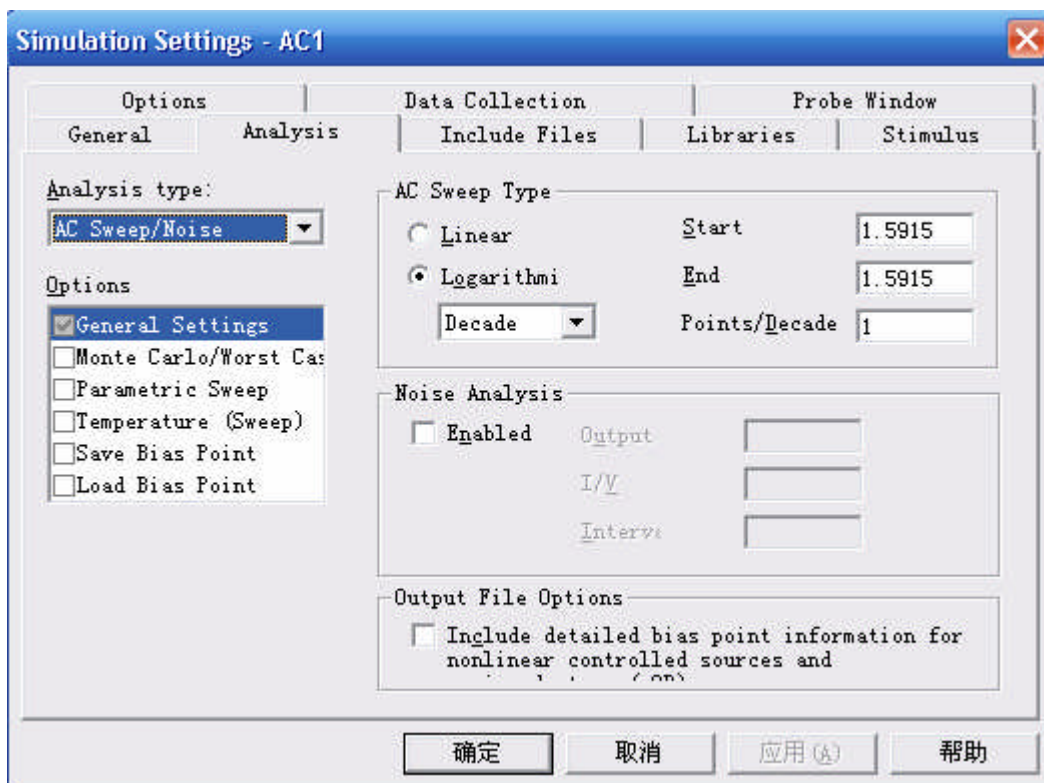


图 3.6 仿真设置

3、单击仿真按钮，得到如下图 3.7 所示的仿真图

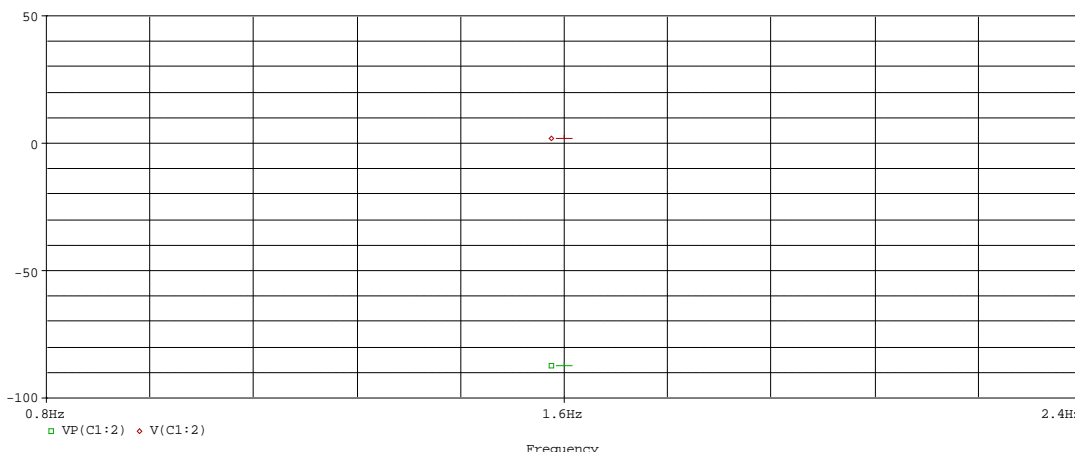



图 3.7 原始仿真结果

4、但是由于两个参数共用一个坐标使得参数数值较小的 V (c1:2) 显得可读性不强，为此，我们将该窗口分为上下两部分显示，选择 Plot→Add Plot to Window 命令新增一个窗口，并单击  按钮新增一个欲显示的曲线 V (c1:2)，同时删去原来途中的 V (c1:2) 曲线，得到如图 3.8 所示的结果：

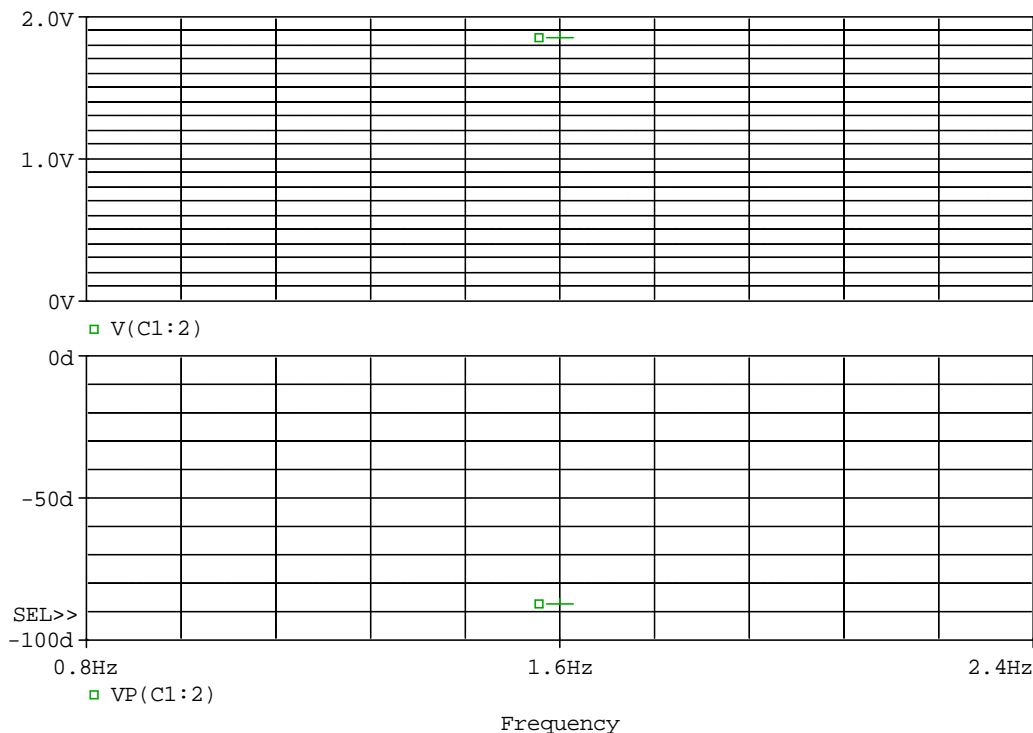


图 3.8 修改后的仿真结果

5、可以看到图中的仿真结果大致为 $V=1.85$ 伏特， $V_p=-87^\circ$ 对比 MATLAB 的仿真结果：
 voltage V3, magnitude: 1.850409
 voltage V3, angle in degree:-72.453299

我们可以看到幅度吻合，相位相差 15° ，是因为我们在 PSpice 仿真中未设置初始相位的缘故。综上，PSpice 还是验证了该实验 MATLAB 解法的正确性。

3.7 补充实验——三相电路分析

3.7.1 实验内容:

对于下图 3.9 电路, 求解 V_{AN} , V_{BN} , V_{CN}

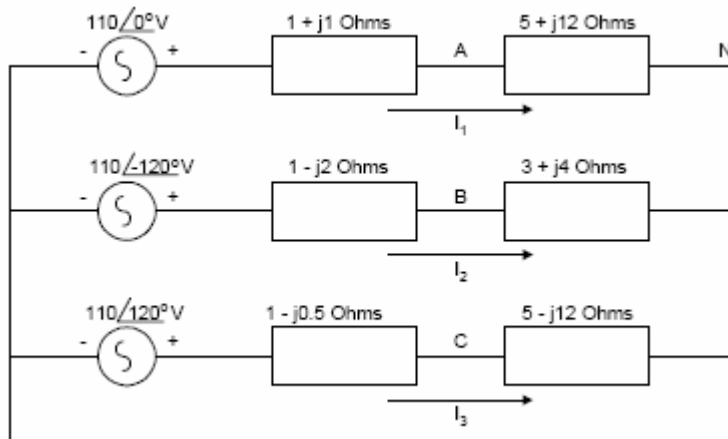


图 3.9 三相电路

3.7.2 实验结果:

MATLAB 求解结果为: (参考程序见附录——[实验三补充实验参考代码](#))

```
phasor voltage Van,magnitude: 99.875532
phasor voltage Van, angle in degree: 132.604994
phasor voltage Vbn,magnitude: 122.983739
phasor voltage Vbn, angle in degree: -93.434949
phasor voltage Vcn,magnitude: 103.134238
phasor voltage Vcn, angle in degree: 116.978859
```

3.8 实验总结

- 1、通过频域变换和节点、网孔分析法, 获得了求解一般正弦稳态交流电路的方法。
- 2、通过 PSpice 软件掌握了交流扫描功能的使用, 并发现和 MATLAB 求解结果一致。

4 实验四 ——二端口网络和幅频响应

4.1 实验目的

- 1、掌握二端口网络的基本分析原理和阻抗矩阵, 导纳矩阵, 转移矩阵, 混合矩阵的求

解方法

2、学会用 MATLAB 作出幅频响应图

4.2 实验原理

1、对于一般的二端口网络如下图 4.1

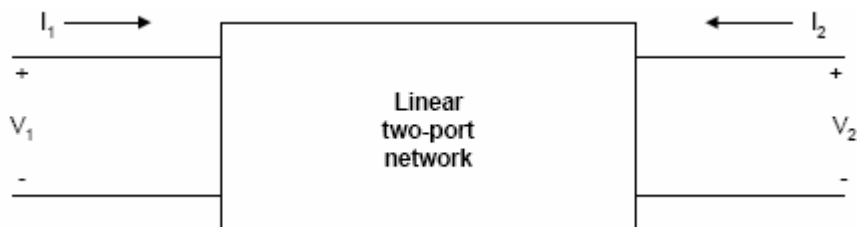


图 4.1 二端口网络的一般表示

I_1 , V_1 是输入电流和电压, 相应的 I_2 , V_2 是输出电流和电压, 我们可以用 Z 参数表述上边的网络如下:

$$\begin{aligned} V_1 &= z_{11}I_1 + z_{12}I_2 \\ V_2 &= z_{21}I_1 + z_{22}I_2 \end{aligned} \quad \text{写成矩阵的形式为: } \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

则可求得:

$$z_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{I_2=0} \quad z_{12} = \left. \frac{V_1}{I_2} \right|_{I_1=0} \quad z_{21} = \left. \frac{V_2}{I_1} \right|_{I_2=0} \quad z_{22} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{I_1=0}$$

2、MATLAB 函数 freqs 用来求传输函数 $H(s)$ 的频率响应, 关于 freqs 的用法参考附录 ([freqs 函数用法](#))

4.3 实验内容

1、对于如下图 4.2 所示的电路图, 假设图中的运放器是理想的, 求解:

- a) Z 参数
- b) 假设该网络左端连接了一个电压源, 源阻抗为 50 欧, 负载阻抗为 1K 欧, 求出电压增益
- c) 用 MATLAB 画出频率增益响应图

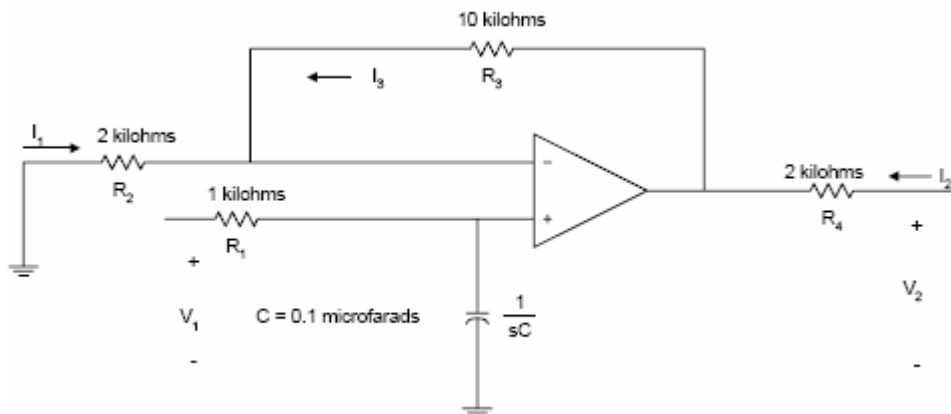


图 4.2 运放电路

4.4 实验步骤

1、利用 KVL 我们可以得到:

$$V_1 = R_1 I_1 + \frac{I_1}{sC}$$

$$V_2 = R_4 I_2 + R_3 I_3 + R_2 I_3$$

根据理想运放器的特性，我们可以得到:

$$R_2 I_3 = \frac{I_1}{sC}$$

将上式代入 V2 的表达式得到:

$$V_2 = \frac{(R_2 + R_3) I_1}{sC R_2} + R_4 I_2$$

很容易我们可以求得:

$$z_{11} = R_1 + \frac{1}{sC}$$

$$z_{12} = 0$$

$$z_{21} = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) \left(\frac{1}{sC}\right)$$

$$z_{22} = R_4$$

2、如果考虑源阻抗 V_g 和负载阻抗 V_L ，则

$$\frac{V_2}{V_g} = \frac{z_{21} Z_L}{(z_{11} + Z_g)(z_{22} + Z_L) - z_{12} z_{21}}$$

代入 1 中求得的 Z 参数，有:

$$\frac{V_2}{V_g} = \frac{(1 + \frac{R_3}{R_2})Z_L}{(R_4 + Z_L)[1 + sC(R_1 + Z_g)]}$$

进而代入题中已知的参数得到

$$\frac{V_2}{V_g} = \frac{2}{[1 + 1.05 * 10^{-4} s]}$$

3、MATLAB 求解频率响应：编写 MATLAB 程序如下：

```
% this file is named net1.m
num = [2];
den = [1.05e-4 1];
w = logspace(1,5);
h = freqs(num,den,w);
f = w/(2*pi);
mag = 20*log10(abs(h)); % magnitude in dB
semilogx(f,mag)
title('Lowpass Filter Response')
xlabel('Frequency, Hz')
ylabel('Gain in dB')
```

4.5 实验结果

运行 MATLAB，得到下图 4.3

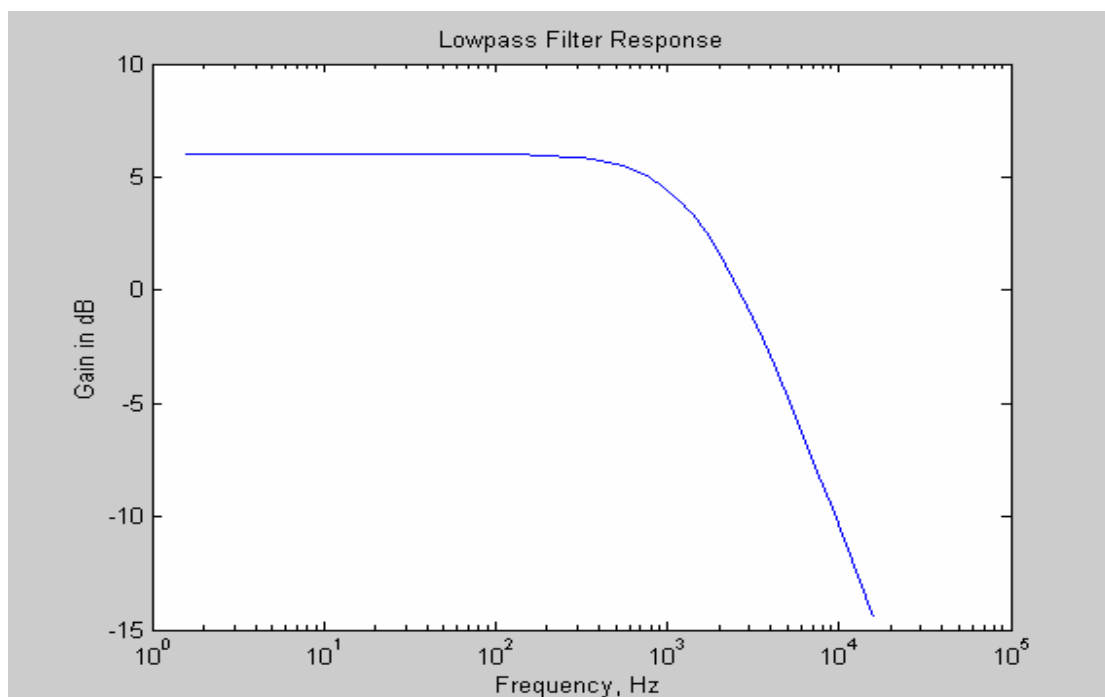


图 4.3 频率—幅度响应图

从图 4.3 中可以看到此电路的幅频特性为一个低通滤波器。

4.6 实验总结

- 1、通过对二端口网络的分析，掌握了一般二端口网络的阻抗矩阵的求解方法
- 2、通过 MATLAB 掌握了如何做频率响应图

5 实验五 —— 认知晶体管特性

5.1 实验目的

- 1、了解二极管、三极管的电流特性
- 2、掌握通过 MATLAB 求解晶体管特性参数的方法
- 3、学会运用晶体管特性解一般电路问题

5.2 实验原理

- 1、对于一个二极管，其电路符号如下图 5.1，其 I-V 特性如图 5.2

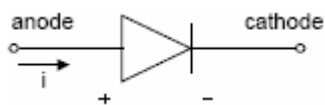


图 5.1 二极管

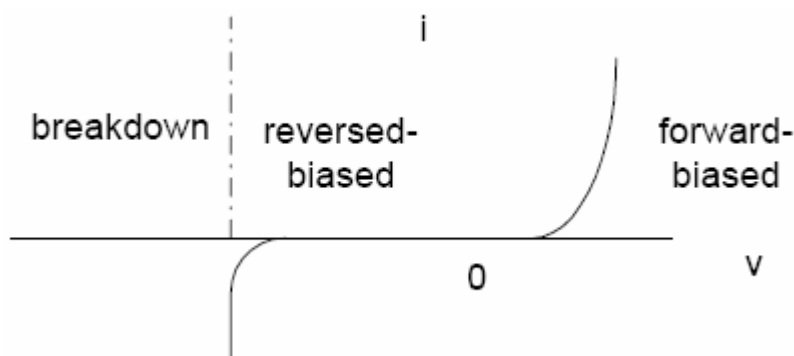


图 5.2 二极管 i-v 特性

- 2、上面的 i-v 特性用公式表示为：

$$i = I_S [e^{(v/nV_T)} - 1]$$

其中：

I_S 为反向饱和电流

n 为一个介于 1 和 2 之间的经验常数

$$V_T = \frac{kT}{q}$$

V_T 热电压，表达式为：常温（25°）下 $V_T = 25.7 \text{ mV}$ 。

- 3、如果假设在常温下通过二极管的电压远大于 0.1V，那么其 i-v 特性可以简化为：

$$i = I_S e^{(v/nV_T)} \quad \text{进一步有}$$

$$\frac{i}{I_S} = e^{(v/nV_T)} \quad \text{对其两边取对数则有:}$$

$$\ln(i) = \frac{v}{nV_T} + \ln(I_S)$$

那么可以发现 $\ln(i)$ 和 v 之间呈现一次多项式关系。

- 4、**MATLAB** 的函数 **polyfit** 用于计算得到匹配一系列数据点的最佳多项式，用法见附录：[\(polyfit 的用法\)](#)

5.3 实验内容

对于一个二极管，其具有如下表 5.1 所示的 i - v 特性，利用 **MATLAB** 求解该二极管反向饱和电流 I_S 和经验常数 n ，同时画出该多项式曲线和该二极管的 i - v 特性图。

Forward Voltage, V	Forward Current, A
0.1	0.133e-12
0.2	1.79e-12
0.3	24.02e-12
0.4	0.321e-9
0.5	4.31e-9
0.6	57.69e-9
0.7	7.726e-7

表 5.1 二极管的 i - v 特性

5.4 实验步骤

- 1、根据上表所列的数据，我们提取出
 $v = [0.1 \ 0.2 \ 0.3 \ 0.4 \ 0.5 \ 0.6 \ 0.7];$
 $i = [0.133e-12 \ 1.79e-12 \ 24.02e-12 \ 321.66e-12 \ 4.31e-9 \ 57.69e-9 \ 772.58e-9];$
- 2、编写 **MATLAB** 程序如下：

```
%this file is named as BJT.m
%Diode parameters
vt = 25.67e-3;
v = [0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7];
i = [0.133e-12 1.79e-12 24.02e-12 321.66e-12 4.31e-9 57.69e-9 772.58e-9];
%
lni = log(i); % Natural log of current
% Coefficients of Best fit linear model is obtained
p_fit = polyfit(v,lni,1);
% linear equation is y = m*x + b
b = p_fit(2);
m = p_fit(1);
ifit = m*v + b;
% Calculate Is and n
Is = exp(b)
n = 1/(m*vt)
% Plot v versus ln(i), and best fit linear model
subplot(2,1,1)
plot(v,i)
xlabel('Voltage (V)')
ylabel('i')
title('二极管 i-v 特性')
subplot(2,1,2)
plot(v,ifit,'r', v, lni,'ob')
axis([0,0.8,-35,-10])
xlabel('Voltage (V)')
ylabel('ln(i)')
title('Best fit linear model')
```

5.5 实验结果

运行 MATLAB，得到下面的结果，如图 5.3:

```
>> BJT

Is =
    9.9525e-015

n =
    1.5009
```

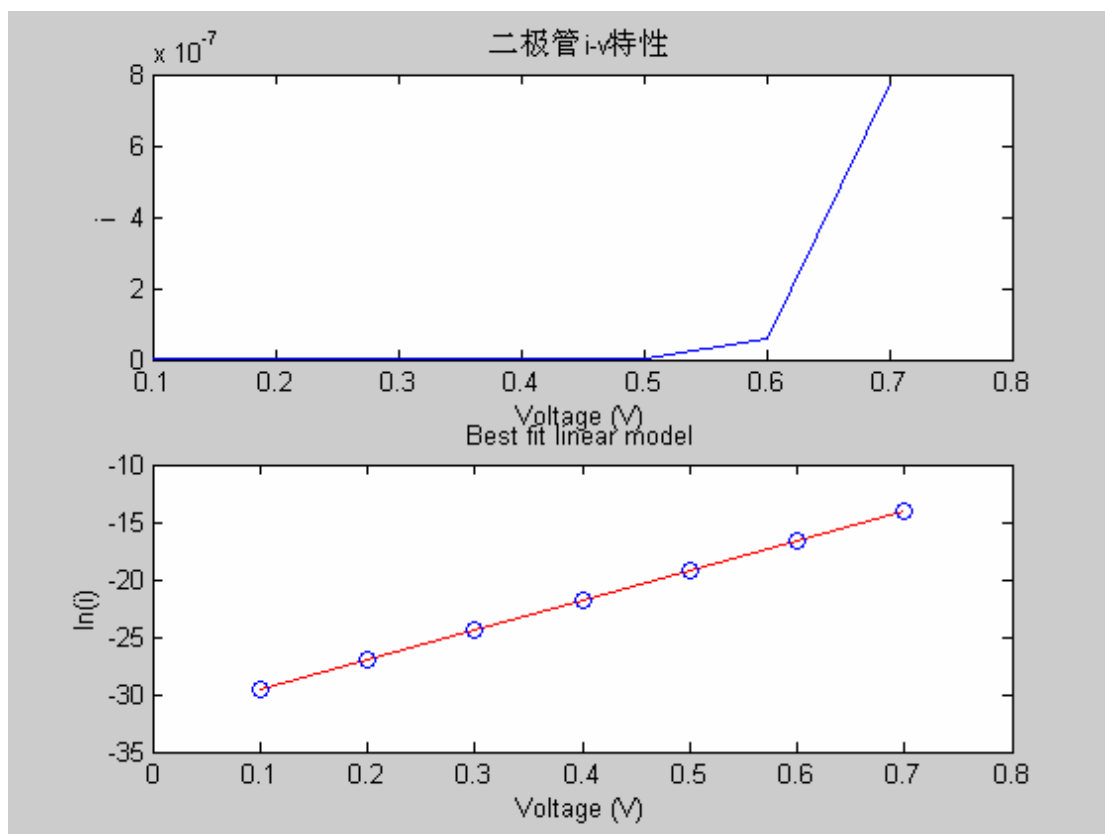


图 5.3 实验结果

5.6 实验总结

- 1、通过该实验我们掌握如何根据二极管的电压电流值求解二极管的热性曲线。
- 2、通过 MATLAB 的 polyfit 函数，掌握了如何求最佳匹配多项式。

5.7 补充实验 —— 认知三极管 i-v 特性

5.7.1 实验内容

对于一个 npn 型的晶体管，已知发射极面积 5.5 mil^2 ， $\alpha^F=0.98$ ， $\alpha^R=0.35$ ， $V_{AF}=250\text{V}$ ，传输电流密度为： $2.0 \times 10^9 \text{ uA/mil}^2$ ，用 MATLAB 画出当 $V_{BE}=0.65\text{V}$ ， 0.64V ， 0.62V ， 0.60V 时该三极管的输出特性，假设温度为 300K 。

5.7.2 实验原理

晶体管 BJT 的直流特性可以用 Ebers-Moll 模型描述，该模型的方程为：

$$I_F = I_{ES} \left[\exp\left(\frac{V_{BE}}{V_T}\right) - 1 \right]$$

$$I_R = I_{CS} \left[\exp\left(\frac{V_{BC}}{V_T}\right) - 1 \right]$$

根据 I_r 和 I_f 可以求得如下面描述的流过三个极的电流：

$$I_C = \alpha_F I_F - I_R$$

$$I_E = -I_F + \alpha_R I_R$$

$$I_B = (1 - \alpha_F) I_F + (1 - \alpha_R) I_R$$

这里

$$V_T = \frac{kT}{q}$$

$$\alpha_R I_{CS} = \alpha_F I_{ES} = I_S$$

5.7.3 实验参考答案

参见附录 [\(实验五 补充实验参考答案\)](#)

6 实验六 ——带有二极管的直流非线性电路

6.1 实验内容

对于下图 5.4，求解 $R=10$ 欧， $V_{DC}=10V$ ， $I_S=10^{-12}A$ ， $n=2.0$ ，假设温度为常温 25° 用 MATLAB 画出二极管的特性曲线和负载曲线。

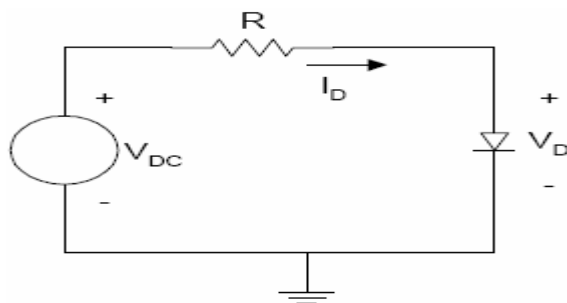


图 6.1

6.2 实验原理

根据 KVL 我们知道:

$$V_{DC} = RI_D + V_D$$

而对于二极管, 我们又知道:

$$i_D = I_S e^{(v_D/nV_T)}$$

通过 MATLAB 求出两条曲线的交点即是题中要求的参数。

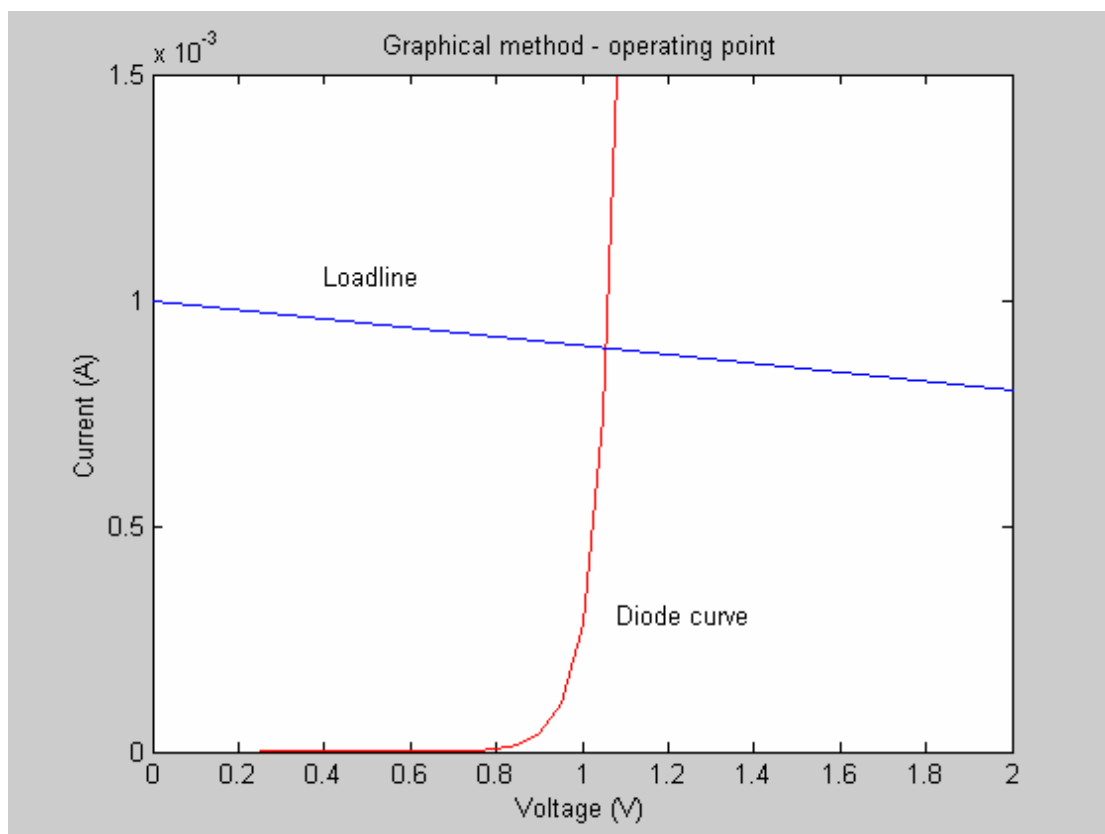
6.3 实验步骤

1、编写 MATLAB 代码如下:

```
% diode equation
k = 1.38e-23;q = 1.6e-19;
t1 = 273 + 25; vt = k*t1/q;
v1 = 0.25:0.05:1.1;
i1 = 1.0e-12*exp(v1/(2.0*vt));
% load line 10=(1.0e4)i2 + v2
vdc = 10;
r = 1.0e4;
v2 = 0:2:10;
i2 = (vdc - v2)/r;
% plot
plot(v1,i1,'r', v2,i2,'b')
axis([0,2, 0, 0.0015])
title('Graphical method - operating point')
xlabel('Voltage (V)')
ylabel('Current (A)')
text(0.4,1.05e-3,'Loadline')
text(1.08,0.3e-3,'Diode curve')
```

6.4 实验结果

运行上述代码, 结果如下图 6-1:



6.5 实验总结

- 1、通过该实验掌握了带有二极管的直流非线性电路的图解法，由图中我们可以看出电路的工作点
- 2、该电路还有另外一种称为“迭代法”的解法，具体分析详见陈老师《电路原理》第三章

7 综合实验——共射放大电路的设计与仿真

7.1 实验目的

1. 熟悉 PSPICE 软件对于电路分析的各种功能使用方法。
2. 加深对共射放大电路放大特性的理解。
3. 学习共射放大电路的设计方法。
4. 学习共射放大电路的仿真分析方法。

7.2 实验内容

1. 在 PSPICE 中输入仿真分析电路图
2. 仿真分析共射放大电路的静态工作点
3. 当 $R_L=3\text{ k}\Omega$ 时, 分析电压放大倍数和频率特性
4. 当 R_L 开路时, 分析电压放大倍数和频率特性
5. 当 $R_L=3\text{ k}\Omega$ 时, 分析电压传输特性及最大不失真输出电压

设计共射放大电路中电阻阻值。已知:

- a) 电源电压 $V_{CC}=12\text{ 伏}$ 。
- b) 三极管采用 Q2N3904 (设 $\beta=145$), $C_1=C_2=10\text{ }\mu\text{F}$, $C_e=100\text{ }\mu\text{F}$ 。
- c) 静态工作电流 $I_{CQ}=1.5\text{ mA}$ 。
- d) 当负载开路时, 要求 $V_{omax}\geq 3\text{ V}$ (有效值), $A_v\geq 100$ 。
- e) 当负载 $R_L=3\text{ k}\Omega$ 时, 要求 $V_{omax}\geq 2\text{ V}$ (有效值), $A_v\geq 60$ 。
- f) 上限频率 $>100\text{ KHz}$, 下限频率 $<1\text{ KHz}$ 。
- g) 画出可供 PSPICE 软件仿真分析用的电路图。
- h) 估算放大电路在负载开路和 $R_L=3\text{ k}\Omega$ 情况下的电压放大倍数

7.3 实验步骤

7.3.1 在 PSPICE 中输入仿真分析电路图

- 必须有一个接地元件 (AGND) 和一个实际的直流电源 12V
- 信号源可选正弦瞬态电压源 (VSIN 元件);
- 设置合适的元件和信号源参数, 终完成的电路图如下图 7.1 所示:

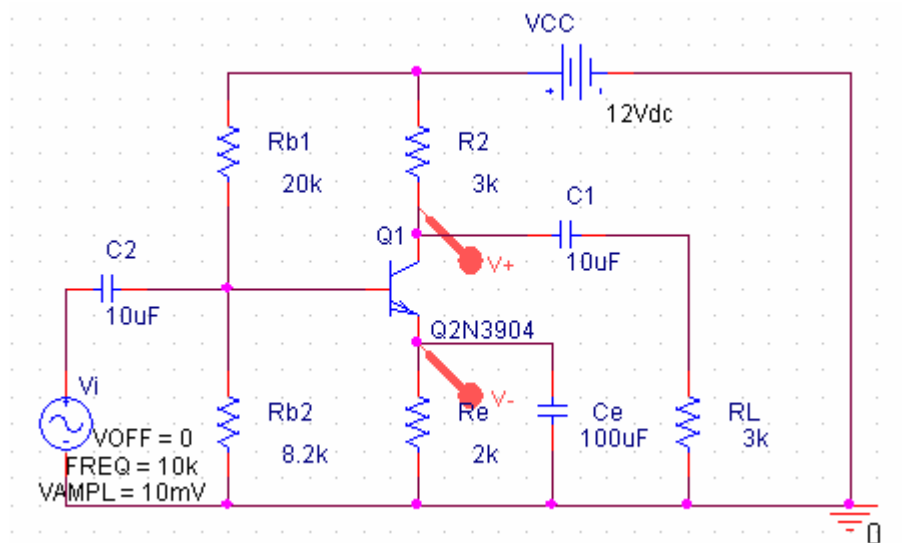



图 7.1 参考电路图

7.3.2 仿真分析共射放大电路的静态工作点

- 1、PSPICE 在对电路进行仿真分析时，总是先计算电路的静态工作点。从 PSPICE 仿真分析后的输出文件可以看到电路中各个节点的静态电压值。
- 2、为了更直观地了解电源电压 VCC 对电路静态工作点的影响，可以设置直流扫描分析对电路进行仿真。将扫描对象设为电源电压 VCC，并选取一定的扫描范围。若只对电源电压的一个值进行仿真，则无法在 Probe 上看到图形曲线。
- 3、为了得到下面的 Vce 电压，我们像上图一样，点击  添加一对测量电压的探针。
- 4、建立仿真文件，选择 DC Sweep 模式，并设置扫描名称为 VCC（注意：此处 name 的值要与电路图中的直流电源名称一致），扫描电压从 10V 到 15V，具体设置如下图 7.2 所示：

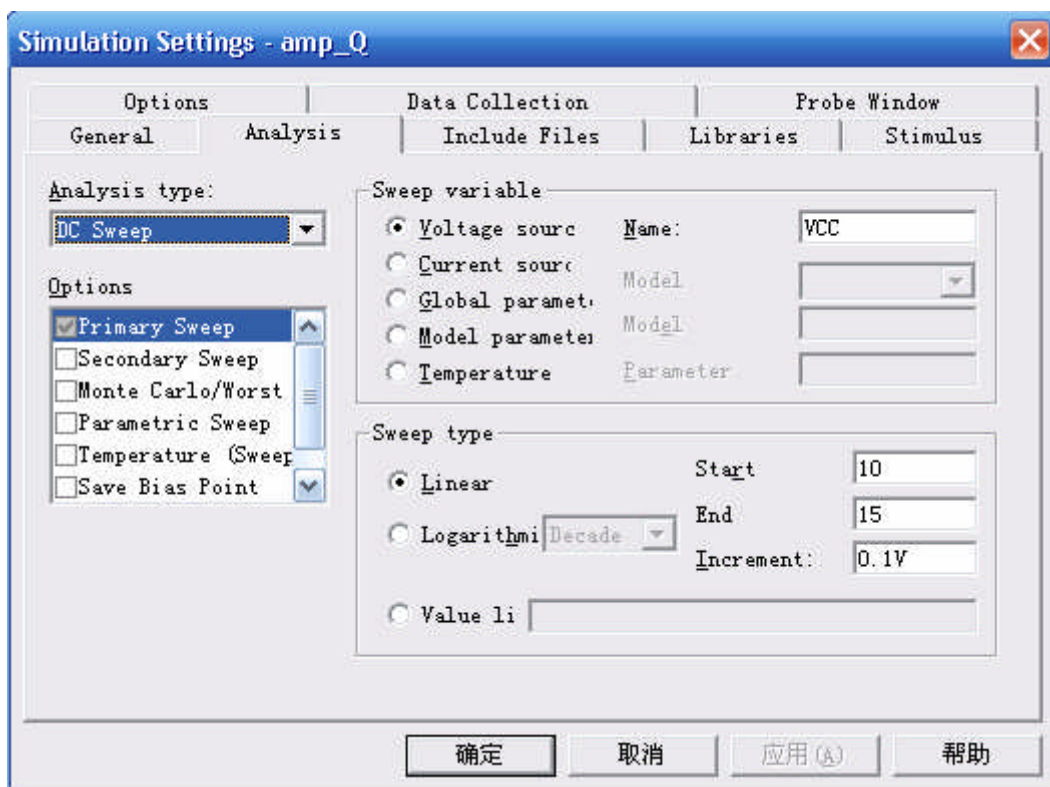




图 7.2 仿真文件设置

- 5、点击仿真按钮 ，开始仿真，得到如下图 7.3 中红色的曲线（Vce 电压），为了在一张图中同时显示直流工作点电流曲线，我们添加一个 y 轴，在仿真窗口选择 Plot → Add Y Axis，这时窗口内会出现一条 Y 轴，同时我们刚才仿真的 Vce 曲线被标注为 1，其对应的 Y 轴的标号也是 1，此时选择  或者执行 Trace → Add Trace 命令添加欲显示的 Ic 曲线，此时会出现如下的对话框，我们选择 IC (Q1)，此时仿真窗口内即会出现如图 7.4 所示的仿真结果：

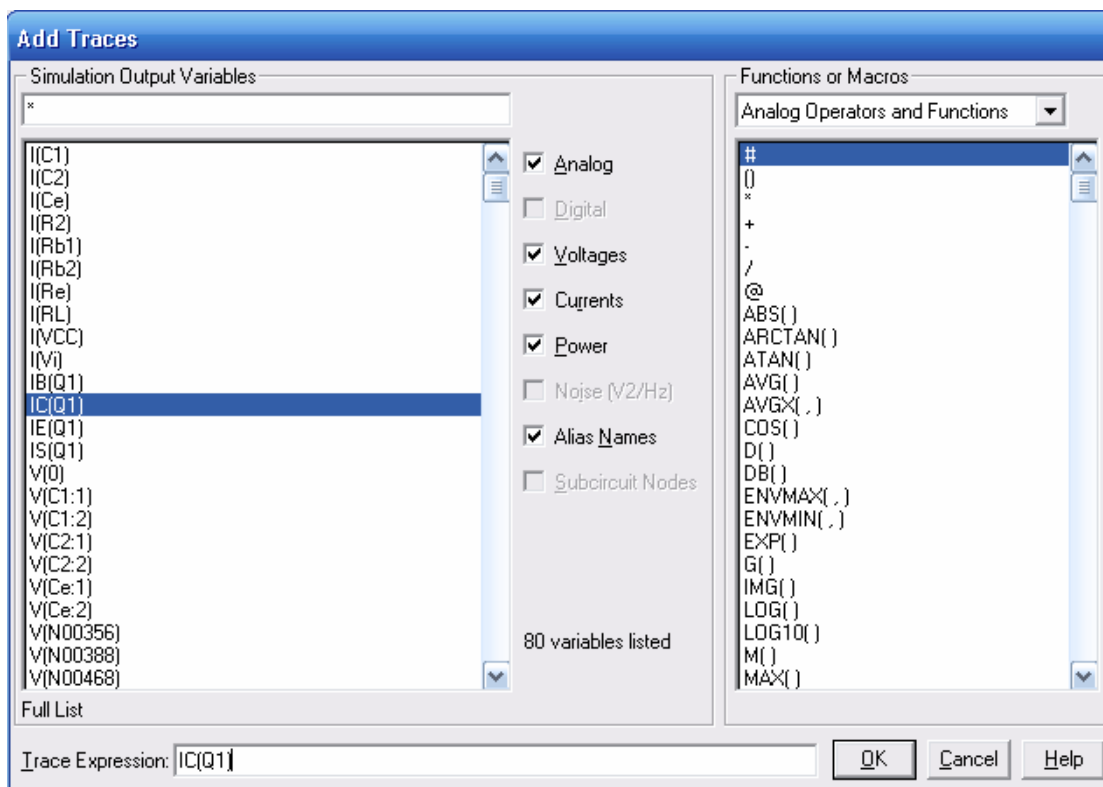


图 7.3 显示 Ic 曲线

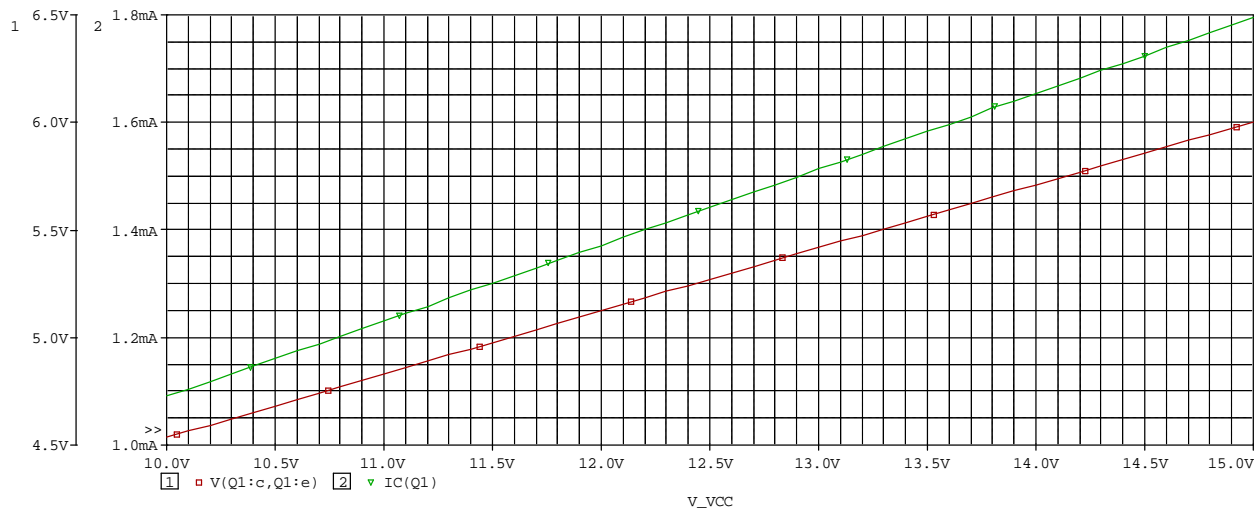


图 7.4 直流工作点扫描结果


7.3.3 当 $R_L=3\text{ k}\Omega$ 时，分析电压放大倍数和相频特性

- 用 PSPICE 仿真分析放大电路的电压放大倍数和频率特性可选择交流扫描分析方式。
- PSPICE 在进行交流扫描分析时，频率被认为是扫描的自变量，并且电路中所有的变量都被认为是复数变量，且其工作频率都随扫描频率而变化。
- 交流分析的扫描方式可设为十倍程扫描，即每次扫描范围是前一次扫描范围的十倍。
- $V(\text{out})/V(\text{in})$ 电压放大倍数曲线或 $\text{DB}(V(\text{out})/V(\text{in}))$ ：电压放大倍数的对数幅

频特性曲线。

e) $V_p(\text{out})$: 输出电压的相频特性曲线。

具体操作如下:

f) 将图 7.3 中的电路图加入三个探针, 其中两个电压探针  分别放置在 V_i 和 V_{out} 处, 另一个执行 PSpice \rightarrow Markers \rightarrow Advanced \rightarrow Phase Of Voltage 选择电压相位探针放置在 V_{out} 处。如下图 7.5 所示:

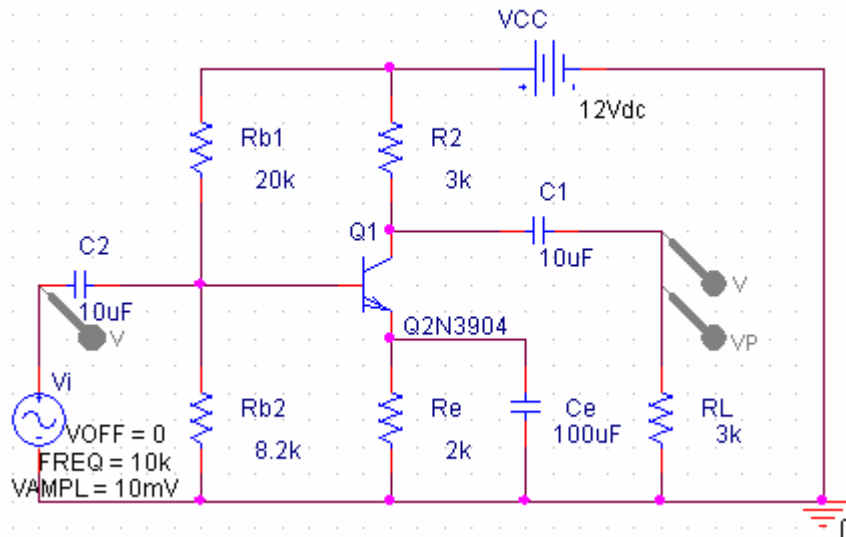



图 7.5 探针的放置

g) 点击  新建一个 amp_gain 仿真文件, 这次我们选择 AC Sweep, 具体设置如下图 7.6 所示:

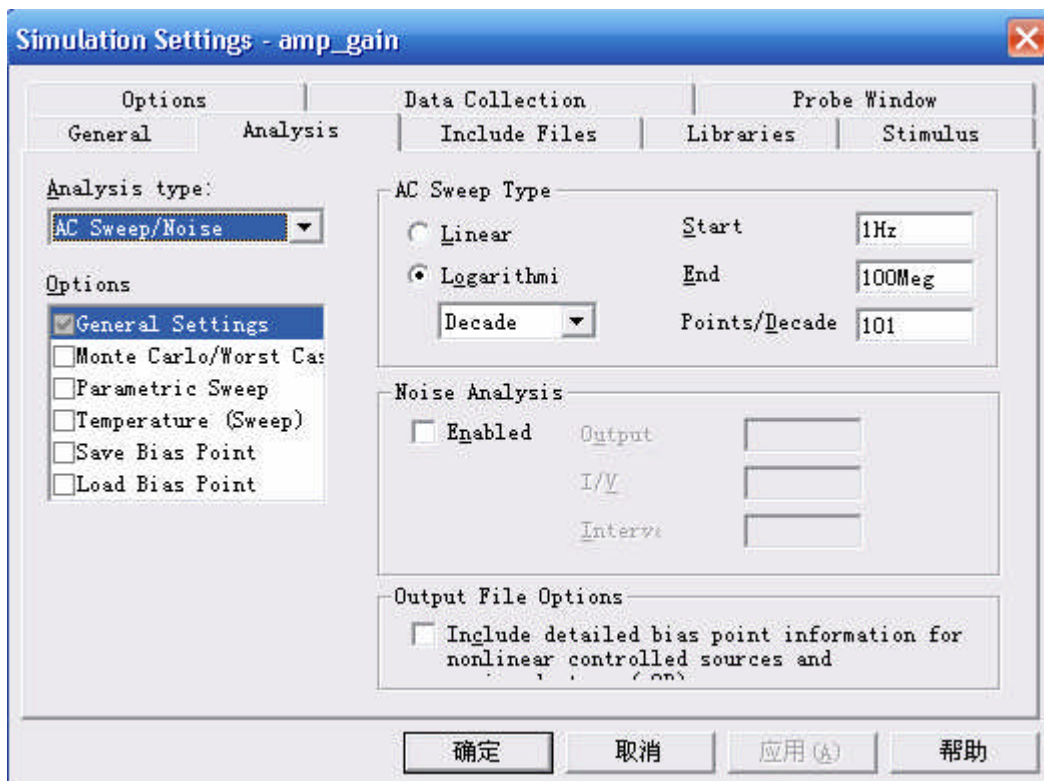


图 7.6 AC Sweep 设置

h) 点击仿真按钮执行仿真，在这里我们得到三条曲线： V_{out} ， V_{in} 和 V_p ，为了得到电压放大倍数，我们需要添加一个 (V_{out}/V_{in}) 曲线，为此，我们删除掉 V_{out} ， V_{in} ，同时添加一个 Y 轴，之后选中右边的 Y 轴添加一个曲线，并在 Trace 的表达式输入框中输入 $(V(C1:2)/V(C2:1))$ ，即 V_{out}/V_{in} ，点击确定，得到如下图 7.7 所示的仿真结果，注意这里我们并没有选择对数 DB 表达。

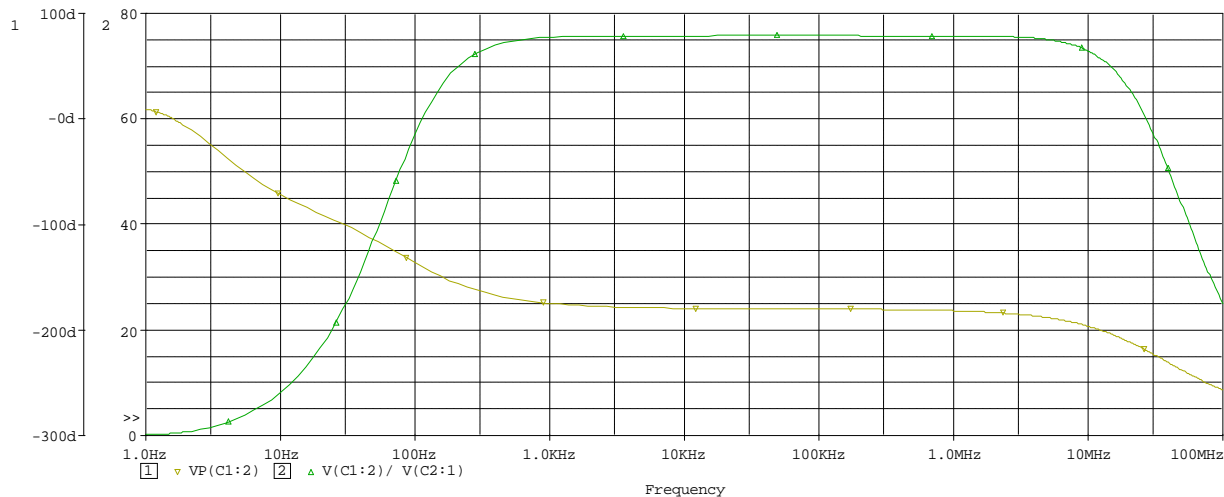


图 7.7 幅频和相频特性

7.3.4 当 RL 开路时，分析电压放大倍数和频率特性

a) 将 R_L 设置为 $1M$ 欧来模拟 RL 开路的状态，其他同前面的设置，再次分析电压放大倍数和频率特性，得到如下图 7.8 所示的仿真结果，注意这次用的是 DB 表示放大倍数

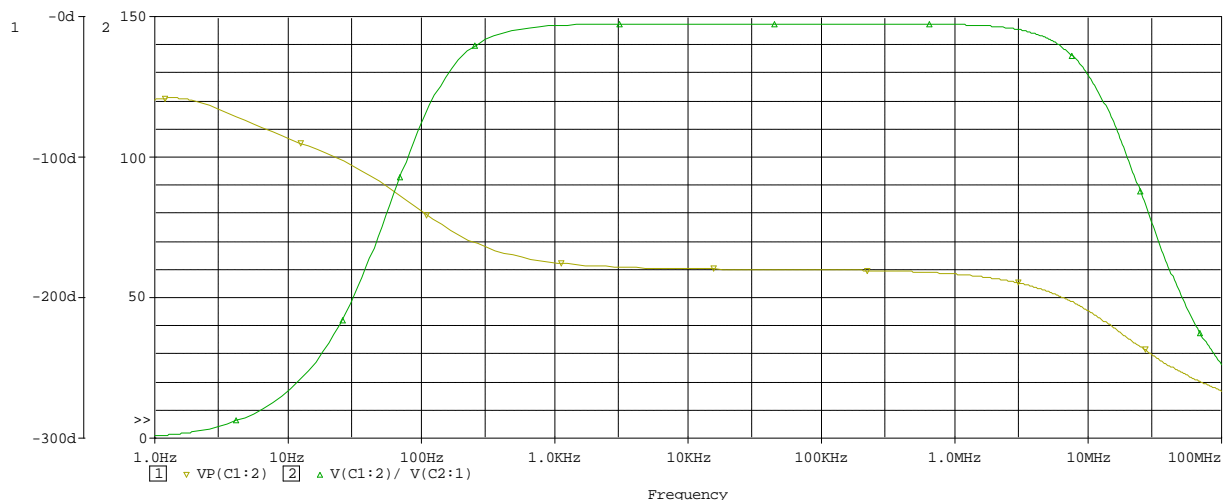


图 7.8 RL 开路时的仿真结果

7.3.5 当 $RL=3k\Omega$ 时，电压传输特性及最大不失真输出电压

- a) 可将分析方式设为瞬态分析。
- b) 瞬态分析是电路的时域分析，即连续地计算电路在各个时刻的的节点电压和

支路电流。

- c) 对电路进行瞬态分析必须在电路图上设置至少一个瞬态信号源，在本实验中应选择正弦瞬态电压源（VSIN 元件）。
- d) 正弦瞬态电压源必须设置失调电压（VOFF）、峰值电压（VAMPL）和频率（FREQ）三个参数，其它属性可采用缺省值。
- e) 若将放大电路的输入信号幅值设置为足够大的信号，则可很容易地观察到输出电压的饱和失真和截止失真。
- f) 还可以从输出电压波形判断是先出现饱和失真还是先出现截止失真，并求出最大不失真输出电压。
- g) 在 Probe 中改变输出电压波形的横坐标为输入电压，就可查看放大电路的电压传输特性曲线。
- h) 从电压传输特性曲线中可以发现由于三极管电流放大倍数 β 的非线性引起的共射放大电路电压放大倍数的非线性特性。

具体操作如下：

- i) 去掉上一个实验中测量相位的探针，其他两个留下
- j) 新建一个仿真文件 amp_vio 文件，并选择瞬态分析，具体设置如下图 7.9 所示：

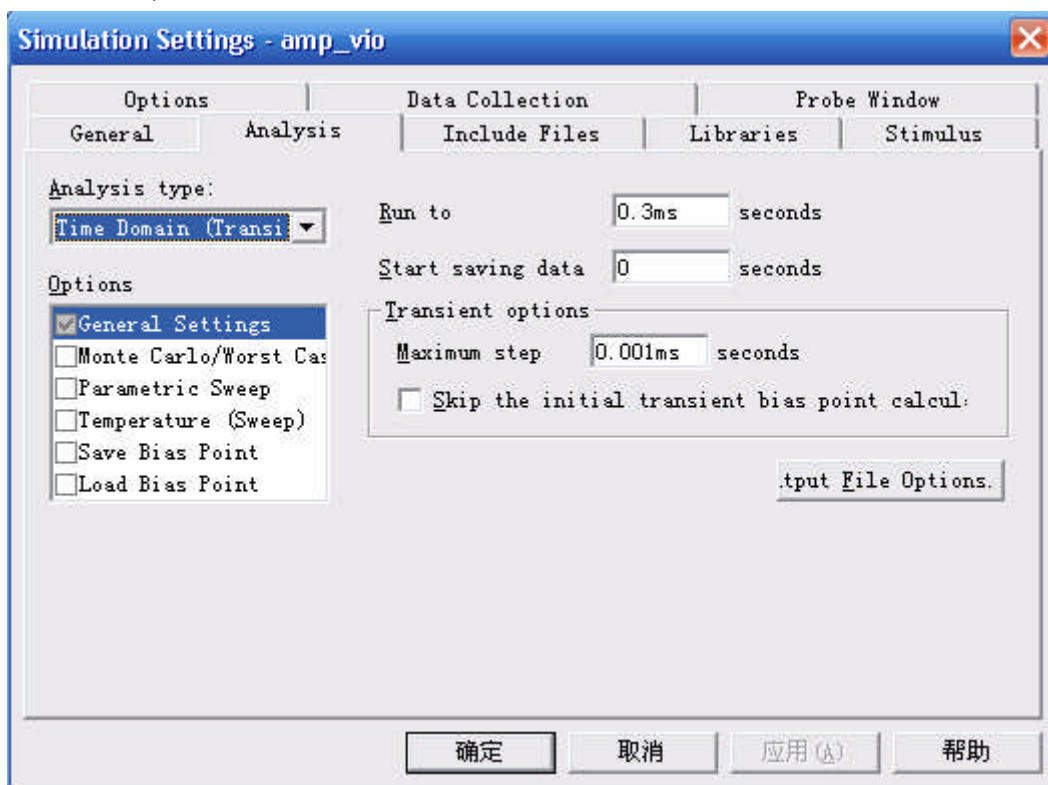


图 7.9 瞬态分析的具体设置

点击确定，仿真后，得到 V_{out} 和 V_{in} 的曲线，由于 V_{in} 的幅度很小，为了显示到具体值，可以仿照前面的方法，为其单独添加一个 Y 轴，最终得到如下图 7.10 所示的仿真结果：

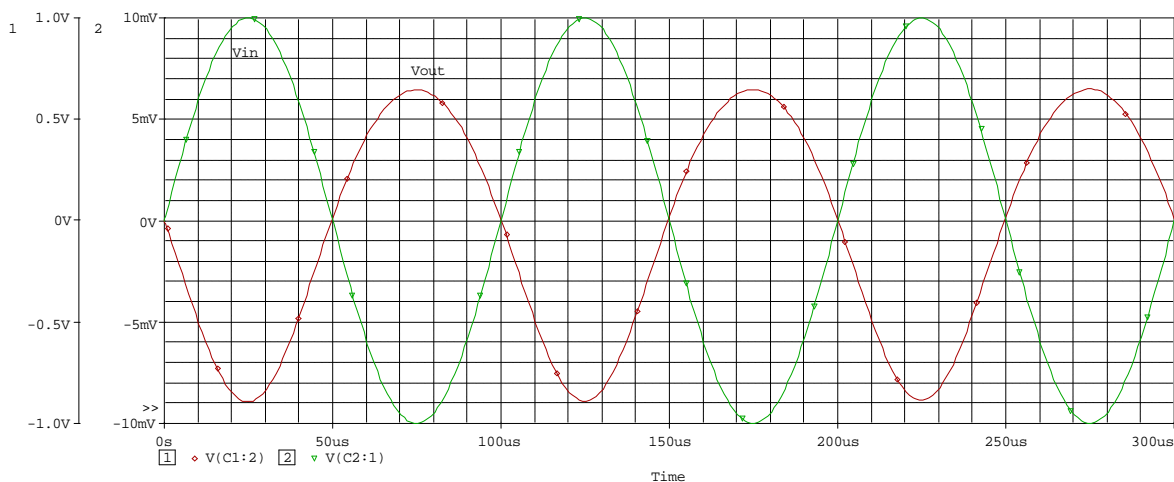


图 7.11 输入和输出电压曲线

k) 观察失真现象：再次仿真上一步中的电路原理图，这次双击 $V(C1:2)$ 即 V_{in} ，在其表达式的输入框中输入 $V(C1:2)*(-75)$ ，得到如下图 7.12 所示的对比关系，可以看到输入电压——绿色曲线为标准正弦曲线（作为标准参考），而输出电压——红色曲线为实际输出的失真曲线。

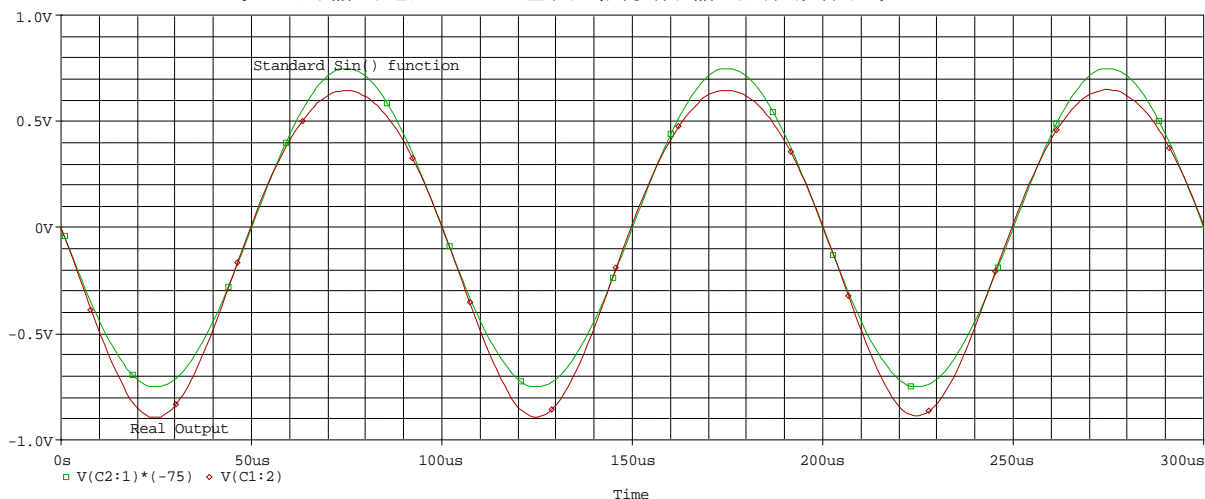


图 7.12 输出电压的失真现象

l) 观察严重的失真现象，将电源电压设置为 100mV ，并在三极管的集电极放置一个电流探针，再次仿真，查看结果，如下图 7.12 所示：为了得到下图的显示效果，我们可以选择 $\text{Plot} \rightarrow \text{Add Plot to Window}$ 将窗口分为上下两个，此时选中上面的窗口添加我们要显示的曲线即可

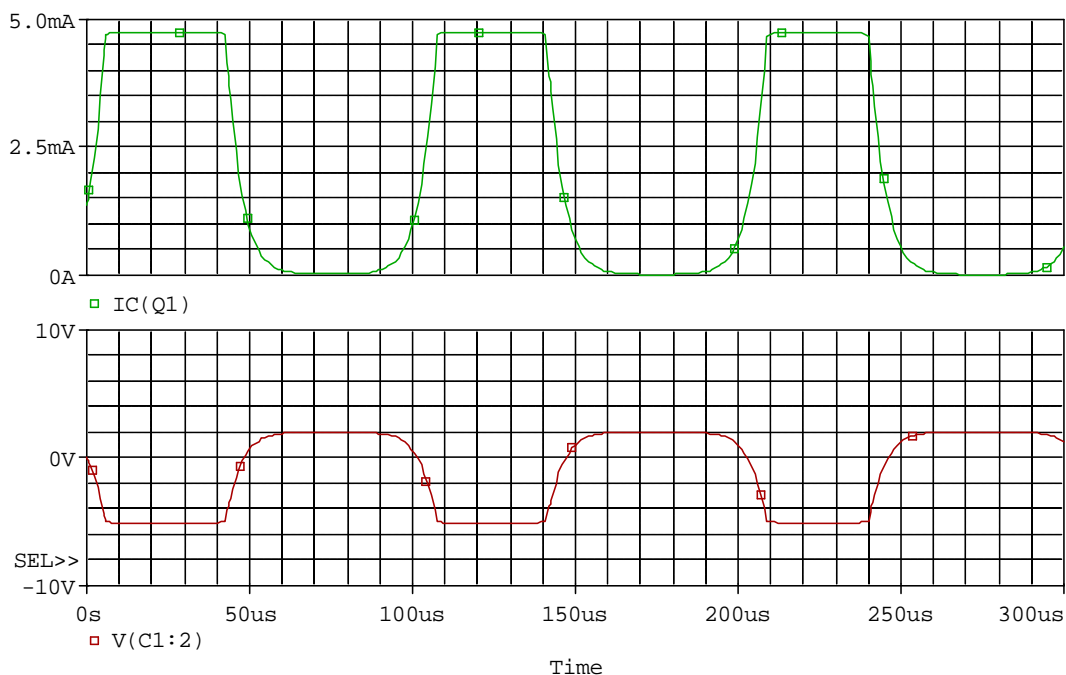


图 7.12 输出失真现象

7.4 实验结果

各个步骤的实验结果参见 [7.3 实验过程](#) 中的每一步。

7.5 实验总结

- 1、通过本实验全面了解了 PSpice 对于直流静态点分析，交流扫描和瞬态分析的相关设置和操作，以及 PSpice 软件 Probe 窗口的相关图像操作。
- 2、实验注重设计求解和对比发现，通过设计电路并仿真，亲自看到放大电路的内部构造和放大效果
- 3、通过改变实验参数，能够清楚的看到放大电路的失真现象，即放大电路一旦超过三极管的放大能力，即会出现失真。

7.6 实验思考题

1. 用 PSPICE 如何仿真分析放大电路的静态工作点？应设置何种分析方式？
2. 用 PSPICE 测试放大电路的电压放大倍数和频率特性应设置何种分析方式？
3. 用 PSPICE 测试放大电路的输出电压波形应设置何种分析方式？
4. 能否用交流扫描分析求放大电路的最大不失真输出电压？
5. 共射放大电路在未出现饱和失真和截止失真时的电压传输特性是否为直线？这时引起电压放大倍数非线性是什么原因？

8 附录

8.1 MATLAB 基本操作

8.1.1 Ode 函数——求微分方程的数值解

$[t,x] = \text{ode23}(\text{xprime}, [tstart, tfinal] \text{xo}, \text{tol}, \text{trace})$

or

$[t,x] = \text{ode45}(\text{xprime}, [tstart, tfinal] \text{xo}, \text{tol}, \text{trace})$

xprime is the function name that you want to solve

tstart is the starting time for the integration

tfinal is the final time for the integration

xo is a column vector of initial conditions

tol is optional. It specifies the desired accuracy of the solution

8.1.2 Freqs 函数——求频率响应

$hs = \text{freqs}(\text{num}, \text{den}, \text{range})$ 用于求解 $H(s)$ 的频率响应

对于传输方程

$$H(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}$$

$$\text{num} = [b_m \ b_{m-1} \ \dots \ b_1 \ b_0]$$

$$\text{den} = [a_n \ a_{n-1} \ \dots \ a_1 \ a_0]$$

range 是频率响应的频率值范围

hs 是复数形式的频率响应

8.1.3 Polyfit 函数——最佳匹配多项式

$\text{coeff}_{xy} = \text{polyfit}(x, y, n)$

x和y 是数据点.

n 是欲求的多项式的指数.

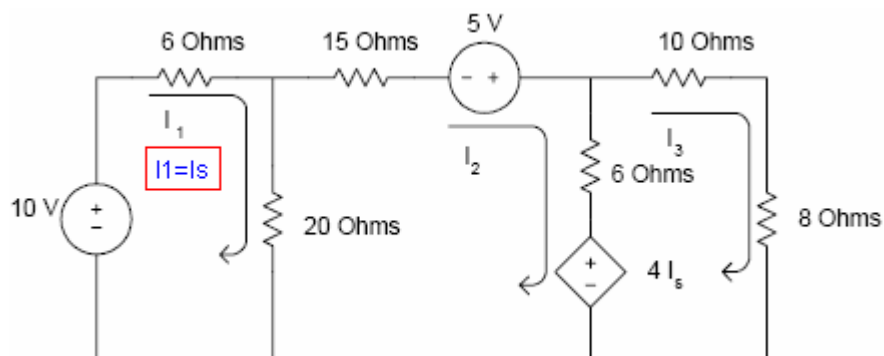
函数返回欲求多项式的系数 (C1, C2, C3...Cm)

那么该多项式即:

$$\text{coeff}_{xy}(x) = c_1 x^n + c_2 x^{n-1} + \dots + c_m$$

8.2 实验一补充实验参考解答

8.2.1 MATLAB 求解



对于环路 1:

$$-10 + 6I_1 + 20(I_1 - I_2) = 0$$

$$26I_1 - 20I_2 = 10$$

对于环路 2:

$$15I_2 - 5 + 6(I_2 - I_3) + 4I_s + 20(I_2 - I_1) = 0$$

$$\text{化简为: } -16I_1 + 41I_2 - 6I_3 = 5$$

对于环路 3:

$$10I_3 + 8I_3 - 4I_s + 6(I_3 - I_2) = 0$$

$$\text{化简为: } -4I_1 - 6I_2 + 24I_3 = 0$$

又知道: $I_s = I_1$

列出矩阵方程:

$$\begin{bmatrix} 26 & -20 & 0 \\ -16 & 41 & -6 \\ -4 & -6 & 24 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10 \\ 5 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$8 \text{ 欧姆电阻上消耗的功率为: } P = RI_3^2 = 8I_3^2$$

编写 MATLAB 程序 exe1_1

```
% exe1_1.m
% This program determines the power dissipated by
% 8 ohm resistor and current supplied by the
% 10V source
%
% the program computes the loop currents, given
% the impedance matrix Z and voltage vector V
%
% Z is the impedance matrix
% V is the voltage vector
% initialize the matrix Z and vector V of equation
% ZI=V
Z = [26 -20 0;
    -16 40 -6;
    -4 -6 24];
V = [10 5 0]';
% solve for loop currents
I = inv(Z)*V;
% the power dissipation in 8 ohm resistor is P
P = 8*I(3)^2;
% print out the results
fprintf('Power dissipated in 8 ohm resistor is %8.2f Watts\n',P)
fprintf('Current in 10V source is %8.2f Amps\n',I(1))
```

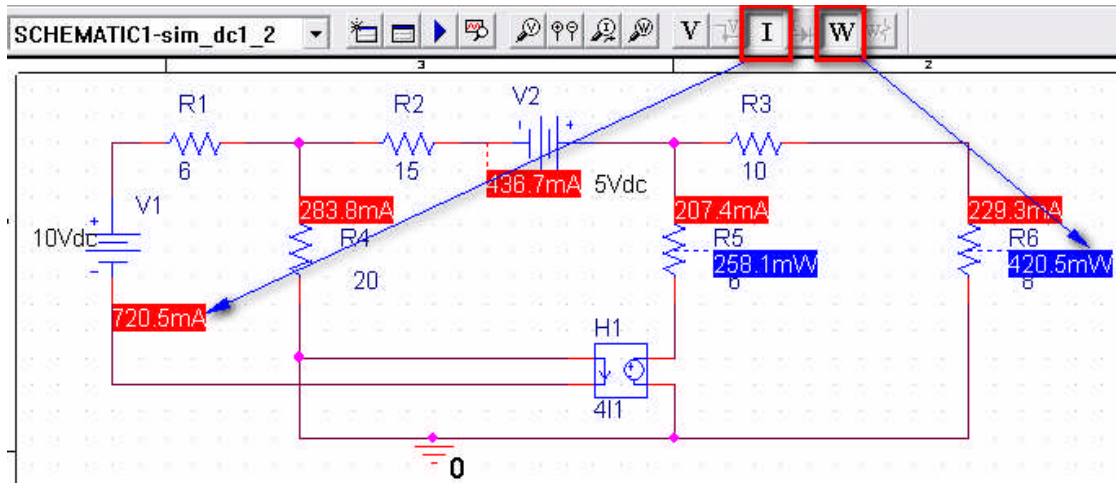
MATLAB 求解结果为：

```
Power dissipated in 8 ohm resistor is 0.42 Watts
Current in 10V source is 0.72 Amps
```

8.2.2 实验一 PSpice 求解参考

PSpice 基本操作请[参考实验一](#)

这里给出参考电路图和仿真结果：



可以看出该结果显示与 MATLAB 求解吻合

8.3 实验三 补充实验参考代码

```
% This program calculates the phasor voltage of an unbalanced three-phase system
% Z is impedance matrix V is voltage vector and I is current vector Z = [6-13*j 0 0;
0 4+2*j 0;
0 0 6-12.5*j];
c2 = 110*exp(j*pi*(-120/180));
c3 = 110*exp(j*pi*(120/180));
V = [110; c2; c3]; % column voltage vector
I = inv(Z)*V; % solve for loop currents
% calculate the phase voltages
Van = (5+12*j)*I(1);
Vbn = (3+4*j)*I(2);
Vcn = (5-12*j)*I(3);
Van_abs = abs(Van);
Van_ang = angle(Van)*180/pi;
Vbn_abs = abs(Vbn);
Vbn_ang = angle(Vbn)*180/pi;
Vcn_abs = abs(Vcn);
Vcn_ang = angle(Vcn)*180/pi;
fprintf('phasor voltage Van,magnitude: %f \n phasor voltage Van, angle
in degree: %f \n', Van_abs, Van_ang)
fprintf('phasor voltage Vbn,magnitude: %f \n phasor voltage Vbn, angle
in degree: %f \n', Vbn_abs, Vbn_ang)
fprintf('phasor voltage Vcn,magnitude: %f \n phasor voltage Vcn, angle
in degree: %f \n', Vcn_abs, Vcn_ang)
```

8.4 实验五 补充实验参考答案

8.4.1 MATLAB 参考代码如下:

我们规定 V_{ce} 的下面一些值表现在 MATLAB 图上:

即 $V_{ce}=[0\ 0.07\ 0.1\ 0.2\ 0.3\ 0.4\ 0.5\ 0.6\ 0.7\ 1\ 2\ 4\ 6]$

然后根据实验原理, 我们编写如下的 MATLAB 程序。

```
k=1.381e-23; temp=300; q=1.602e-19;
cur_den=2.0e-15; area=5.5; alpha_f=0.98;
alpha_r=0.35; vt=k*temp/q; is=cur_den*area;
ies=is/alpha_f; ics=is/alpha_r;
vbe= [0.65 0.64 0.62 0.6];
vce=[0 0.07 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 1 2 4 6];
n=length(vbe);
m=length(vce);
for i=1:n
for j=1:m
ifr(i,j)= ies*exp((vbe(i)/vt) - 1);
vbc(i,j) = vbe(i) - vce(j);
ir(i,j) = ics*exp((vbc(i,j)/vt) - 1);
ic(i,j) = alpha_f*ifr(i,j) - ir(i,j);
end
end
ic1 = ic(1,:);
ic2 = ic(2,:);
ic3 = ic(3,:);
ic4 = ic(4,:);
plot(vce, ic1,'r',vce, ic2,'b',vce, ic3,'g',vce, ic4,'y')
title('Output Characteristic')
xlabel('Collector-emitter Voltage, V')
ylabel('Collector current, A')
text(3,3.5e-4, 'Vbe = 0.65 V')
text(4,2.4e-4, 'Vbe = 0.64 V')
text(3,1.2e-4, 'Vbe = 0.62 V')
text(4,0.6e-4, 'Vbe = 0.60 V')
axis([0,6,0,4e-4])
```

8.4.2 实验结果参考

运行上述的代码，画出如下的 BJT 特性图

