

《电子线路 CAD》 实验讲义

2012. 3

前 言

随着大规模集成电路和计算机技术的迅速发展，电子电路的分析与设计方法发生了重大变革。以计算机辅助设计(CAD: Computer Aider Design)为基础的电子设计自动化技术(EDA)已广泛应用于集成电路与系统的设计之中。它改变了以定量估算和电路实验为基础的传统设计方法，成为现代电子系统设计的关键技术之一，是必不可少的工具和手段。

模拟集成电路的仿真工具，是众多 EDA 工具中的一个重要的组成部分。由于模拟电路在性能上的复杂性和电路结构上的多样性，对仿真工具的精度、可靠性、收敛性及速度等都有相当高的要求。国际上公认的模拟电路通用仿真工具是美国加州大学伯克利分校开发的 SPICE 程序，该程序收敛性好，适于做系统及电路级仿真。1984 年，MicroSim 公司推出了基于 SPICE 的微机版本 PSPICE (Personal- SPICE)。此后各种版本的 PSPICE 不断问世，功能也越来越强。

目前，PSPICE 软件的使用已经非常流行。在大学里，它是工科类学生必会的分析与设计电路工具；在公司里，它是产品从设计、实验到定型过程中不可缺少的设计工具。

本实验讲义是《电子线路 CAD》课程的上机实验部分的内容，通过多进行上机练习，希望同学们能够掌握 PSPICE 这一强大电路仿真软件的应用，进而加强对模拟电路的理解、分析和设计的能力。

2012. 3

目 录

实验一	熟悉 PSPICE 环境及电路图的绘制.....	1
实验二	直流工作点分析、直流灵敏度分析.....	4
实验三	直流传输特性、直流特性扫描分析.....	8
实验四	交流小信号频率特性分析、噪声分析.....	12
实验五	瞬态特性分析	21
实验六	温度分析、参数扫描分析	27
实验七	蒙特卡诺分析、最坏情况分析.....	32
实验八	综合实验	40

实验一 熟悉 PSPICE 环境及电路图的绘制

一 实验目的：

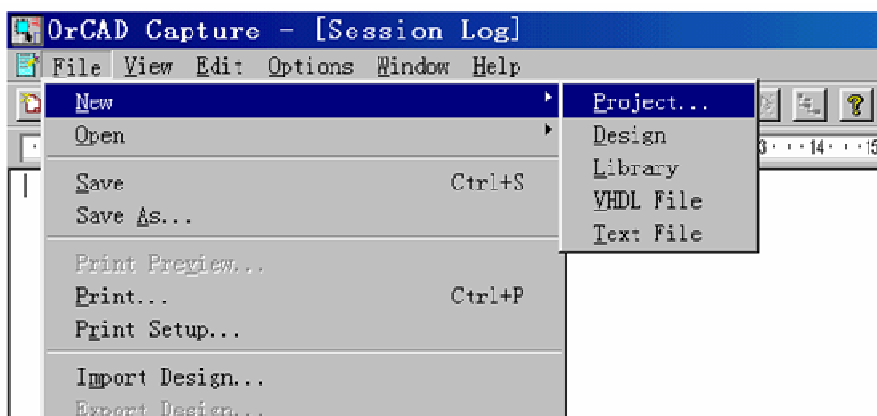
1. 熟悉 OrCAD/PSPICE 环境
2. 掌握 PSPICE 中电路图的绘制

二 实验内容：

（一）熟悉 OrCAD/PSPICE 环境

（二）PSPICE 中电路图的绘制

（1）新建设计项目



（2）选定设计项目类型 **注意：** 存储位置路径不能含有中文字符。



(3) 配置元器件符号库 对于学生版软件:

元件库位于...OrCAD_demo\capture\library\PSPICE 下, 只有 8 个库文件。

配置库文件的方法: place→part→add library

(4) 取放元器件:

Capture 中, 菜单: Place/Part 或命令按钮: 

(5) 取放电源与接地符号

电源: Capture 中, 菜单: Place/Power 或 命令按钮: 

Place/Part→Source 库中 VDC, VAC 等。

注意:

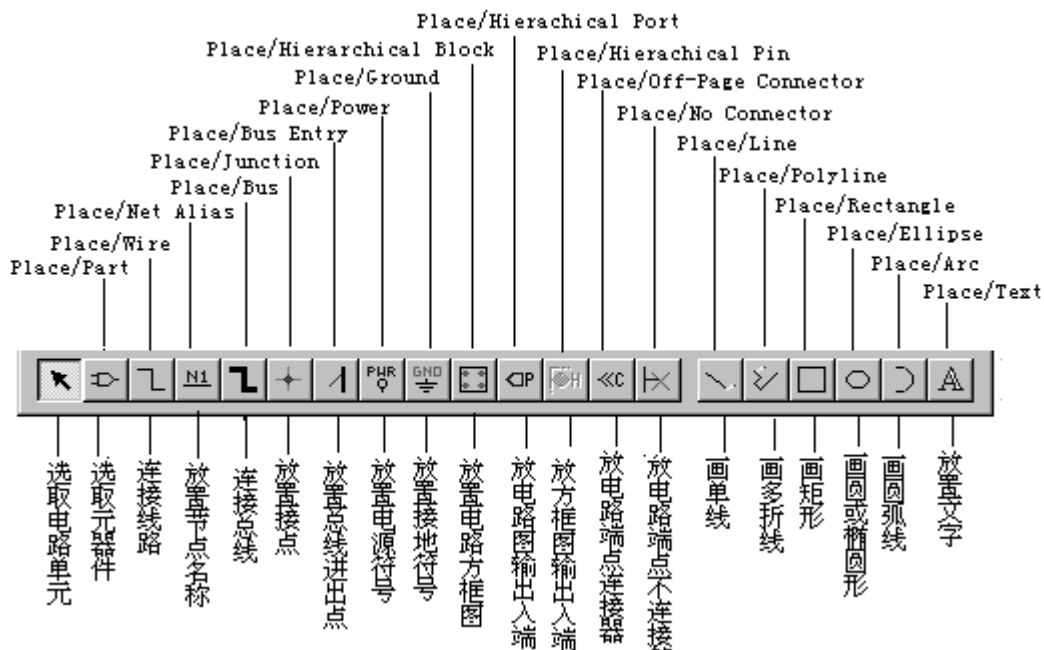
1. CAPSYM 库中的 4 种电源符号和接地符号仅仅是一种符号, 本身不具备任何电压值。
2. SOURCE 库中的电源和地符号真正代表一种激励电源, 其电压值可以设定。

地: Capture 中, 菜单 Place/Groud 或命令按钮 , 将其属性值设置为 0。

(6) 连线及设置节点名

设置节点名: Capture 中, 菜单: Place/Net Alias 或命令按钮: 

小结: 绘图快捷键



绘制图 1。

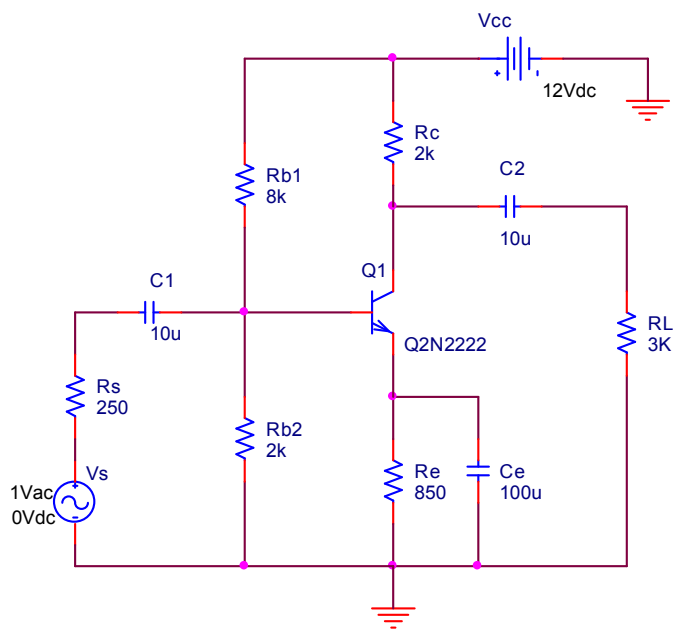


图 1

实验二 直流工作点分析、直流灵敏度分析

一 实验目的：

1. 掌握直流工作点分析；
2. 掌握直流灵敏度分析。

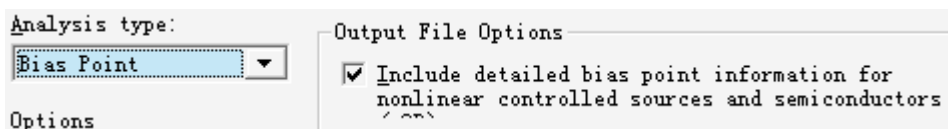
二 实验内容：

（一）直流工作点分析

静态：当 $U_i=0$ 时，放大电路处于静态。

静态（直流）工作点： $I_{BQ}, I_{CQ}, U_{CEQ}, U_{BEQ}$ $\begin{cases} 0.6—0.8, \text{硅管} \\ 0.1—0.3, \text{锗管} \end{cases}$

分析类型及参数设置：



- ***1. 对图 2.1 所示阻容耦合共射放大电路进行直流工作点分析并记录数据。
(gongzuodian)

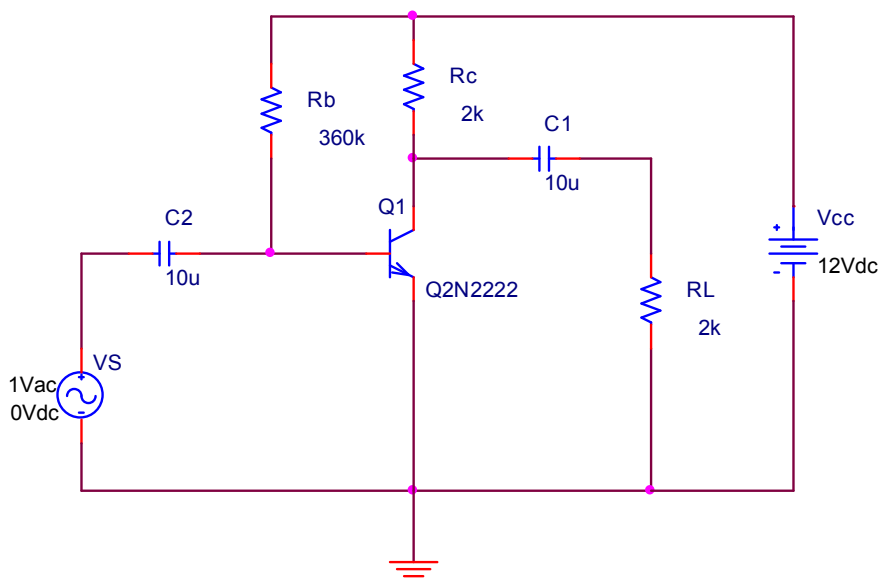
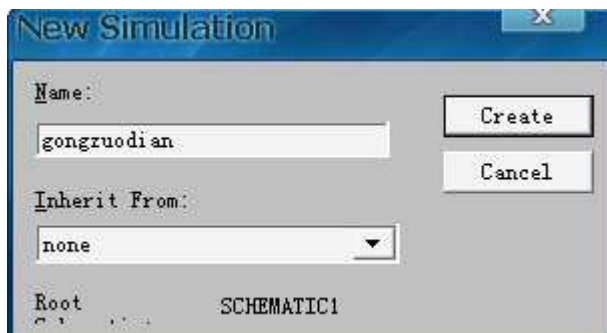


图 2.1 阻容耦合共射放大电路

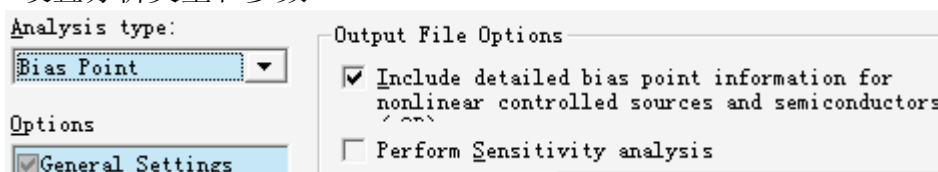
步骤:

- (1) 用 Capture 画好电路图 2.1
- (2) 建立模拟类型分组: PSPICE/New Simulation Profile



输入 Name: gongzuodian, 然后点击 Create。


- (3) 设置分析类型和参数



- (4) 运行 PSPICE

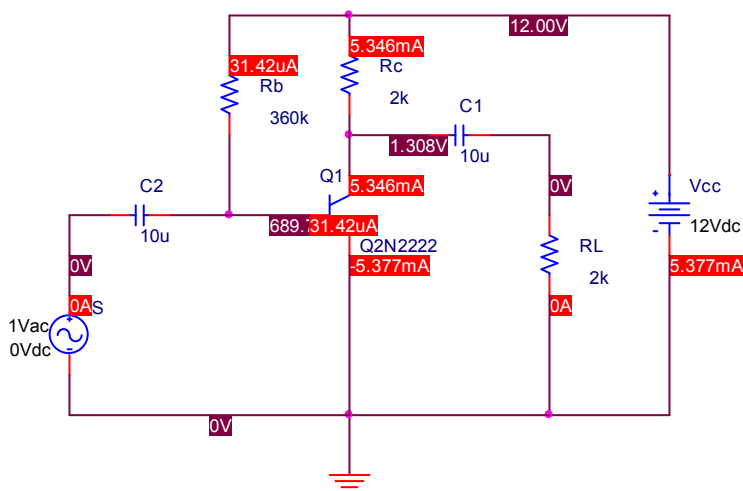
菜单: PSPICE/Run 或 命令按钮 

- (5) 查看分析结果

Capture 窗口中, 命令按钮  和 

详细分析结果可查看输出文件. OUT:

PSPICE A/D 中, View/Output File 或 命令按钮 .



（二）直流灵敏度分析

***1. 对图 2.2 进行直流灵敏度分析并记录数据(linmindu)。

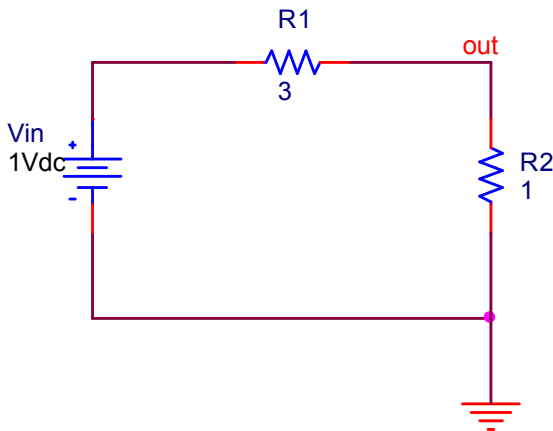
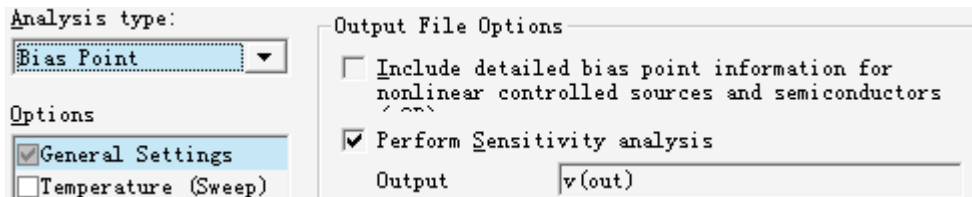


图 2.2 直流灵敏度分析

步骤:

- (1) 用 Capture 软件画好电路图。
- (2) 建立模拟类型分组并设置参数。



- (3) 运行并查看分析结果。

DC SENSITIVITIES OF OUTPUT V(OUT)

ELEMENT NAME	ELEMENT VALUE	ELEMENT SENSITIVITY (VOLTS/UNIT)	NORMALIZED SENSITIVITY (VOLTS/PERCENT)
R_R1	3.000E+00	-6.250E-02	-1.875E-03
R_R2	1.000E+00	1.875E-01	1.875E-03
V_Vin	1.000E+00	2.500E-01	2.500E-03

***2. 设计电路：用灵敏度分析设计单管放大电路的静态工作点。初始电路如图 2.3 所示，要求调整适当的元件参数，使晶体管 Q1 的 $ICQ \approx (1 \pm 0.1) \text{mA}$ (li2_3_1)

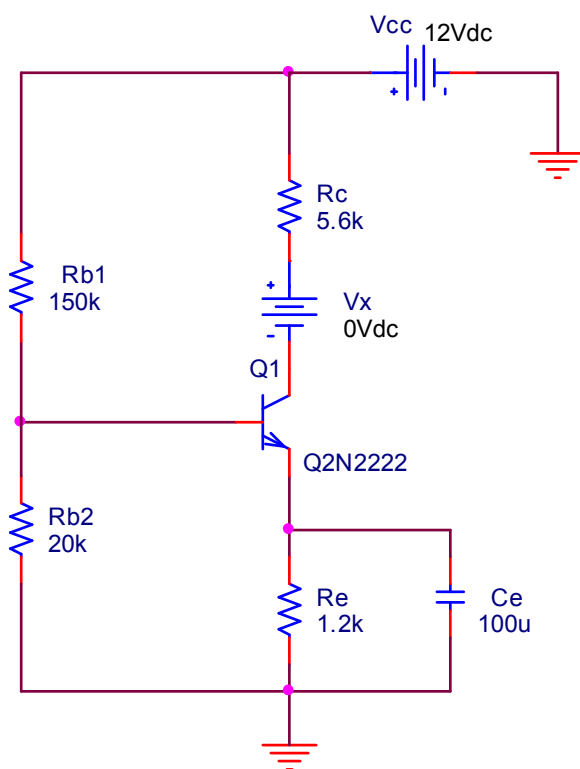


图 2.3

实验三 直流传输特性、直流特性扫描分析

一 实验目的:

1. 掌握直流传输特性分析;
2. 掌握直流特性扫描分析。

二 实验内容:

(一) 直流传输特性分析

***1. 求图 3.1 电路的直流小信号传输特性：即电压放大倍数、输入电阻、输出电阻。(zhiliuchuanshu)

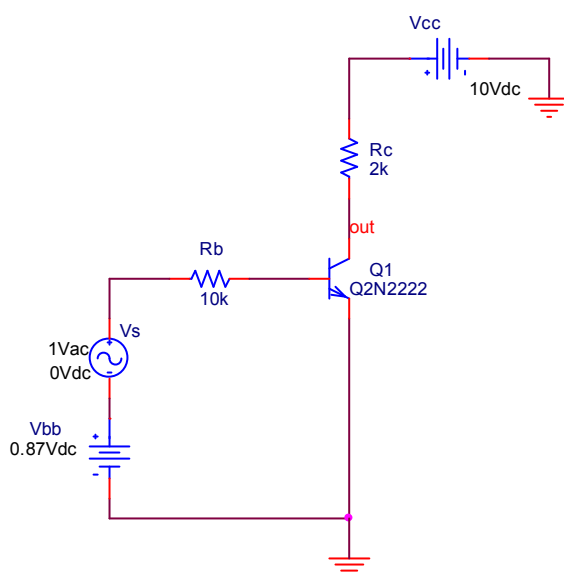
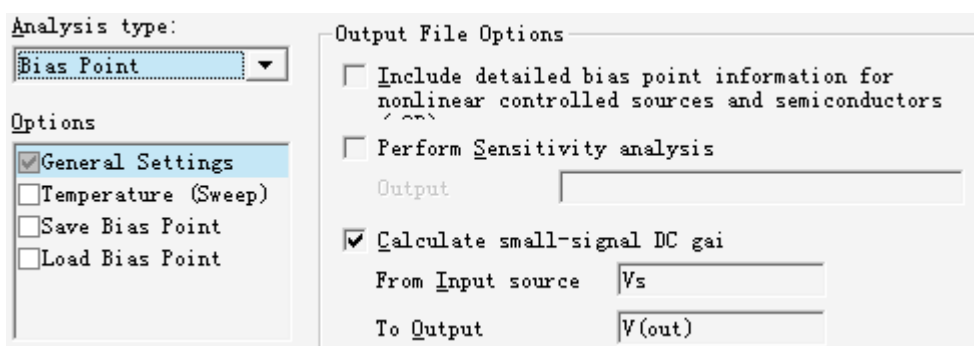


图 3.1 直流传输特性分析

步骤:

- (1) 用 Capture 软件画好电路图。
- (2) 建立模拟类型分组并设置参数。



(3) 运行并查看结果。

```

****      SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

V(OUT)/V_Vs = -2.932E+01

INPUT RESISTANCE AT V_Vs =  1.147E+04

OUTPUT RESISTANCE AT V(OUT) =  1.843E+03

```

(二) 直流特性扫描分析

1. 单管放大电路如图 3.2 所示，求：调节 V_{bb} ，使 $I_{CQ1} \approx 2mA$ 。(li2_2_1)

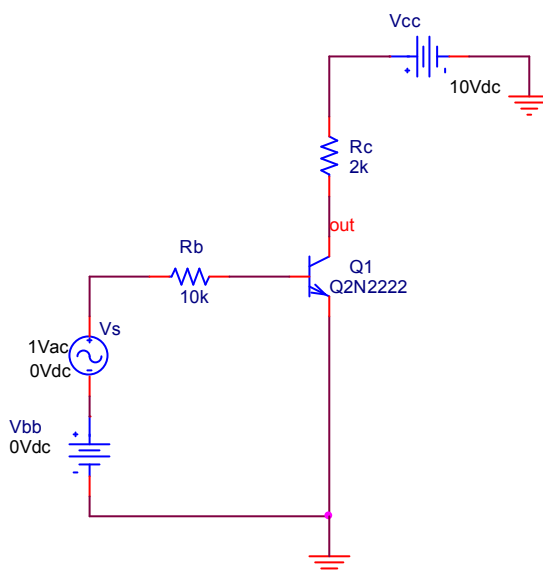
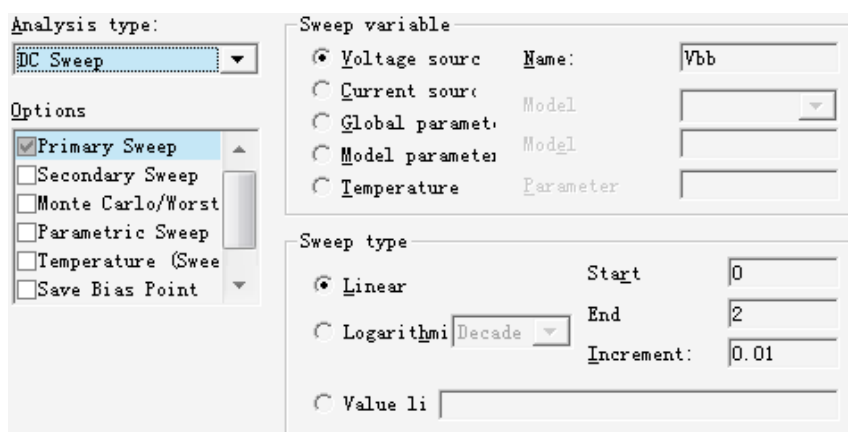


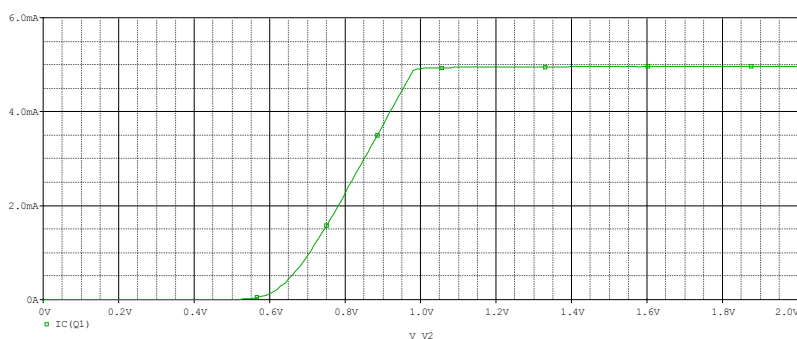
图 3.2 直流特性扫描分析

步骤：(1) 用 Capture 软件画好电路图。

(2) 建立模拟类型分组并设置参数。



(3) 运行并查看结果。



当 $V_{bb}=0.782V$ 时, $I_{CQ1} \approx 2mA$ 。

2. 三极管的输出特性曲线测试。(shuchutexing)

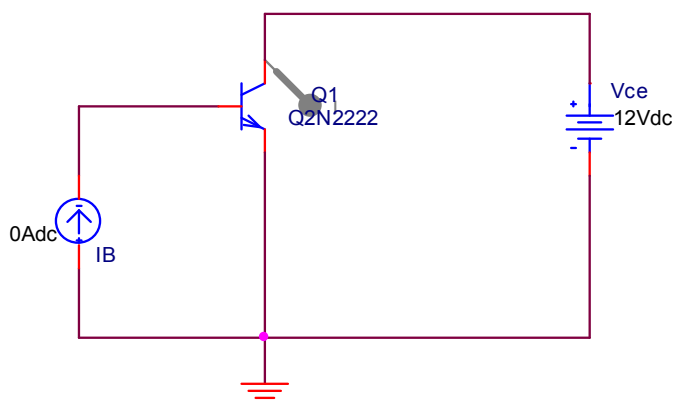


图 3.3 三极管的输出特性曲线测试

3. 三极管的输入特性曲线测试(shurutexing)

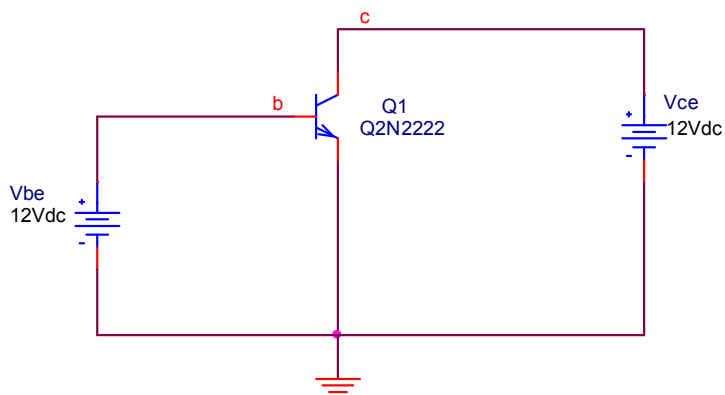


图 3.4 三极管的输入特性曲线测试

***4. 一个单管放大电路如图 3.5 所示，求：

- ①调节 V_{bb} , 使 $I_{CQ1} \approx 2\text{mA}$;
- ②计算 $I_{CQ1} \approx 2\text{mA}$ 时电路的直流工作点;
- ③计算电路的电压增益和输入、输出电阻;
- ④求 out 节点电压的直流灵敏度。(li2_2_1)

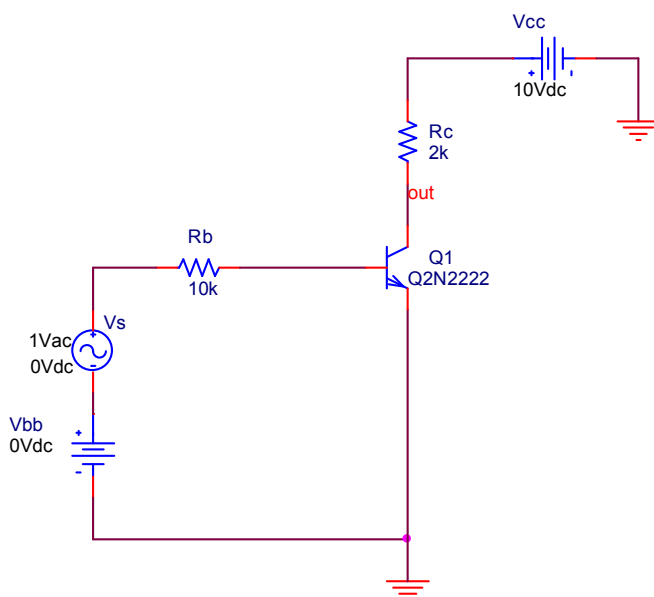


图 3.5

实验四 交流小信号频率特性分析、噪声分析

一 实验目的:

1. 掌握交流小信号频率特性分析;
2. 掌握噪声分析。

二 实验内容:

(一) 交流小信号频率特性分析

***1. 分析图 4.1 差动放大电路的频率特性。(ac)

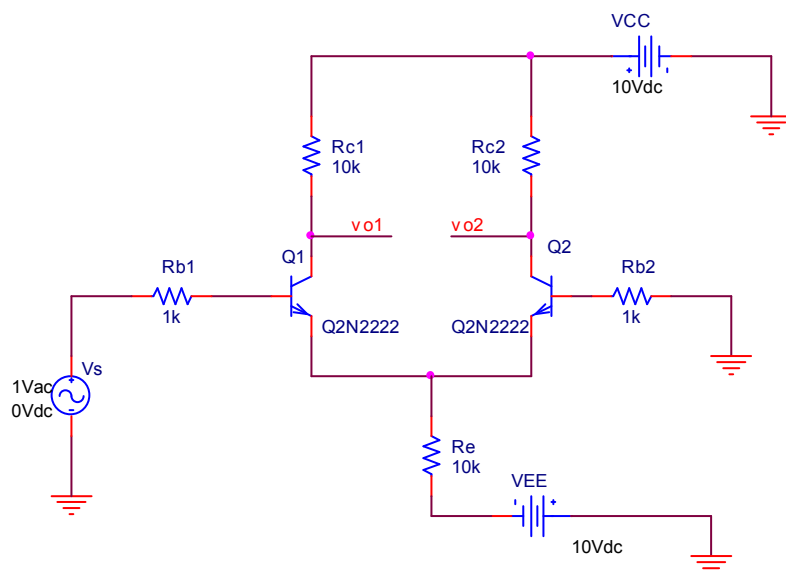


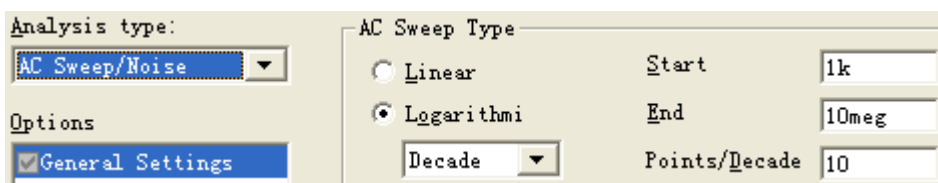
图 4.1

步骤:



(1) 用 Capture 软件画好电路图。

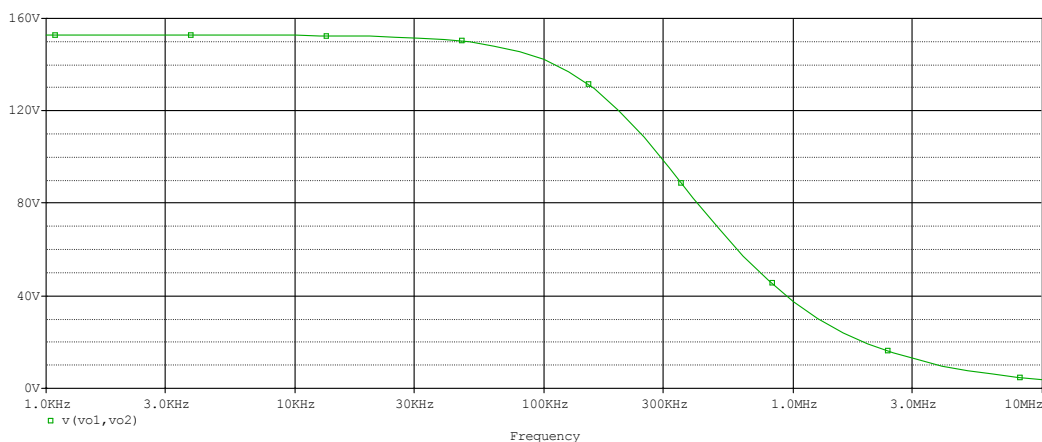
信号源 Vs 选交流电压源 VAC，幅值为 1V。


(2) 建立模拟类型分组并设置参数。



(3) 运行并查看曲线。

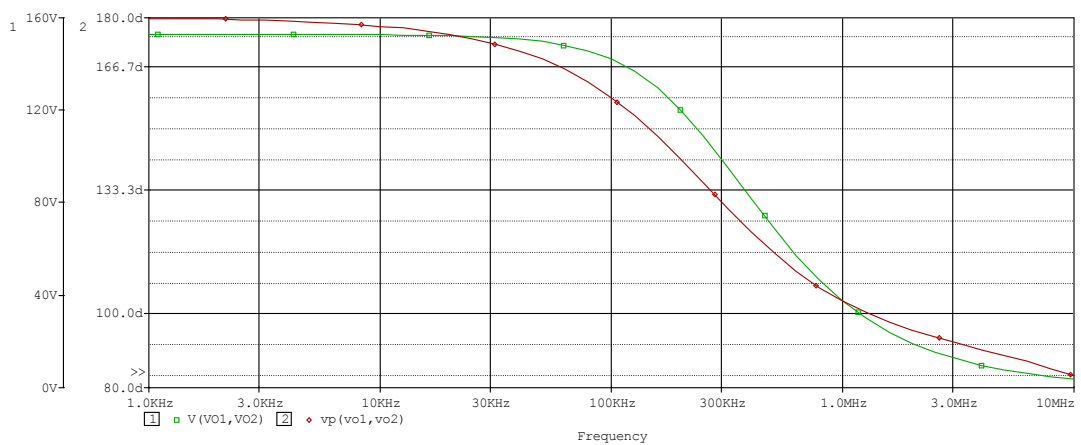
☺ 幅频响应：在 Probe 窗口中，Trace→Add Trace (), 在“Trace Expression”文本框中键入 V (Vo1, Vo2)，即显示双端输出的幅频响应。
或放置器件 。



分贝图：在 Probe 窗口中， Trace→Add Trace (), 在“Trace Expression”文本框中键入 VDB (Vo1, Vo2)，即显示以分贝为单位的幅频响应。

☺ 相频响应：点选 Plot→Add Y Axis ，增加一个纵轴。

在“Trace Expression”文本框中键 VP (Vo1, Vo2)，即显示出相频响应。



***2. 计算图 4.2 电路的上限截止频率、电压增益和输入、输出阻抗。(li2_4_1)

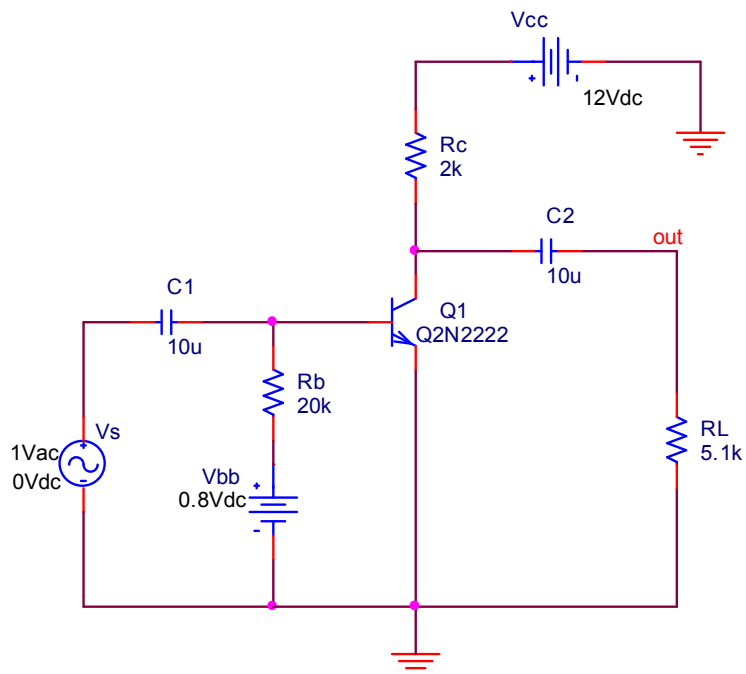


图 4.2

3. 电路如图 4.3，计算电路的电压增益 $A_{vs} = v_{out} / v_s$ 、通频带、输入、输出阻抗。(li6_1_2)

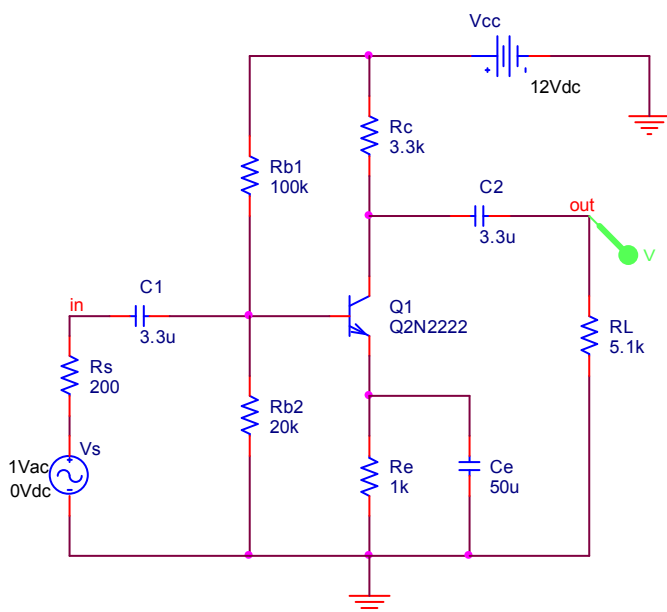


图 4.3

4. 分析计算**理想对称**差动放大电路的基本特性, 包括小信号差模特性和共模特性。电路如图 4.4, 输入为正弦信号。(li6_2_1)

(1) 设差模输入 $V_{i1} = -V_{i2} = 1V$, 求 $A_{VD1} = \frac{V_{o1}}{V_{i1} - V_{i2}}$, $A_{VD2} = \frac{V_{o2}}{V_{i1} - V_{i2}}$, $A_{VD} = \frac{V_{o1} - V_{o2}}{V_{i1} - V_{i2}}$

的幅频特性, 确定低频电压增益 A_V 及 f_H , 观察 V_e 的值。

(2) 设共模输入 $V_{i1} = V_{i2} = 1V$, 求 $A_{VC1} = \frac{V_{o1}}{V_i}$, $A_{VC2} = \frac{V_{o2}}{V_i}$, $A_{VC} = \frac{V_{o1} - V_{o2}}{V_i}$

的幅频特性, 确定低频电压增益 A_V , 观察 V_e 的值。

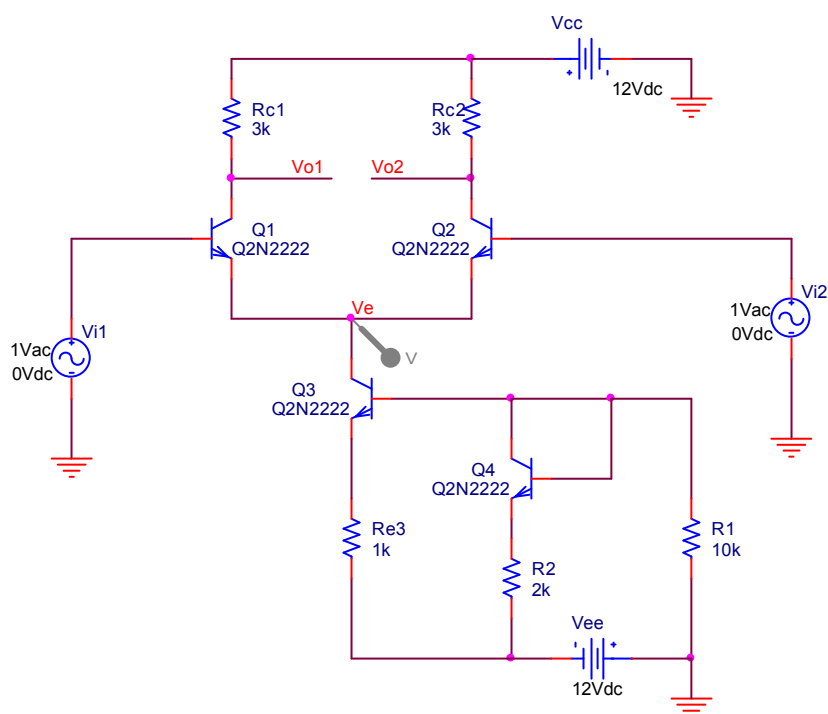


图 4.4 理想对称差动放大电路

5. 分析计算**非理想对称**差动放大电路的基本特性。电路如图 4.5。(li6_2_2)

(1) 作直流分析，求静态工作点，观察 IC_{Q1} 和 IC_{Q2} 的值。

(2) 设 $V_{i1} = -V_{i2} = 10mV$ ，求 V_{o1}, V_{o2} 。若下一级电路也是差放电路，该结果会产生什么影响。

(3) 设 $V_{i1} = V_{i2} = 1V$ ，求 V_{o1}, V_{o2} 。若下一级电路也是差放电路，该结果会产生什么影响。

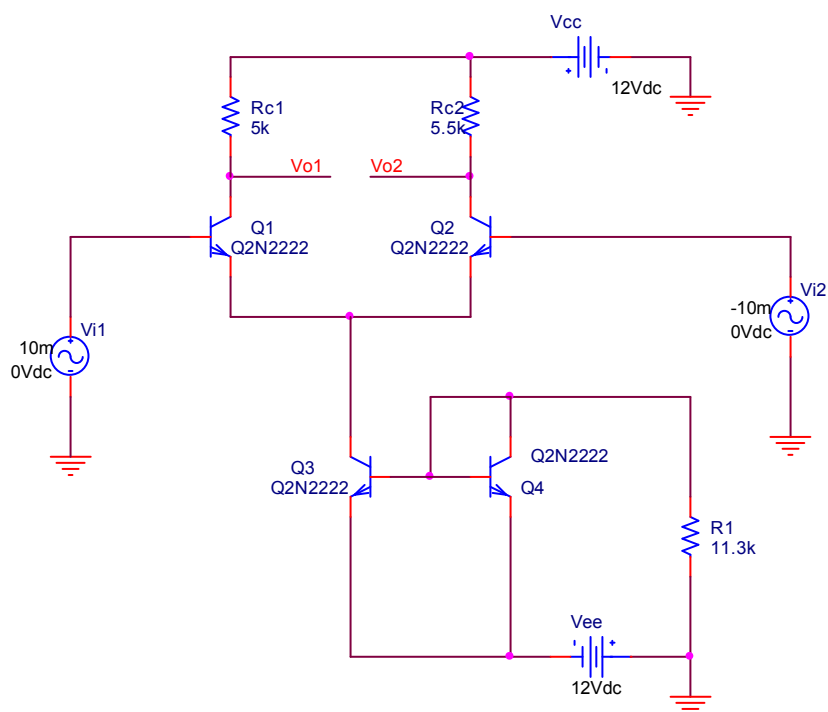


图 4.5 非理想对称差动放大电路

***6. 有源负载的共发射极放大电路如图 4.6 所示。要求：

- (1) 求电路的直流传输特性，确定电压 V_{bb} 处在什么范围电路工作在线性放大状态；
- (2) 调节 V_{bb} 使静态输出电压约为 $V_{cc}/2$ ，并求此时的静态工作点；
- (3) 求电路的电压增益，输出电阻 R_o 、上限截止频率 f_H ；
- (4) 若输出端接有负载电阻 $R_L=100k\ \Omega$ ，重复以上计算。（li6_1_4）

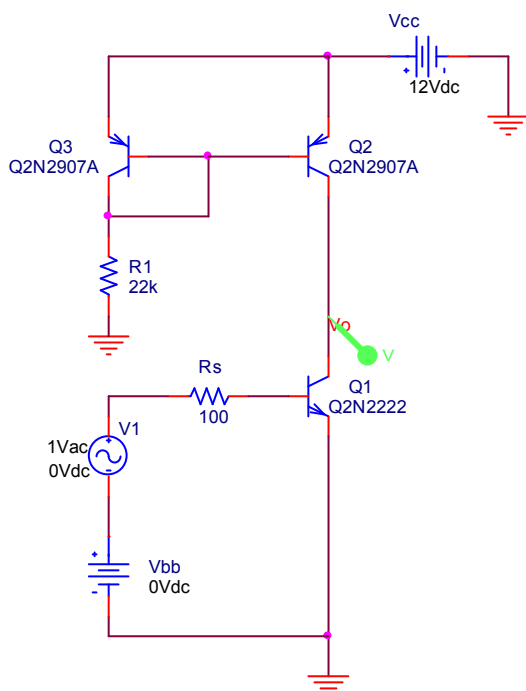


图 4.6 有源负载共发射极放大电路

(二) 噪声分析

***7. 对图 4.7 所示差动放大电路进行噪声分析。(zaosheng)

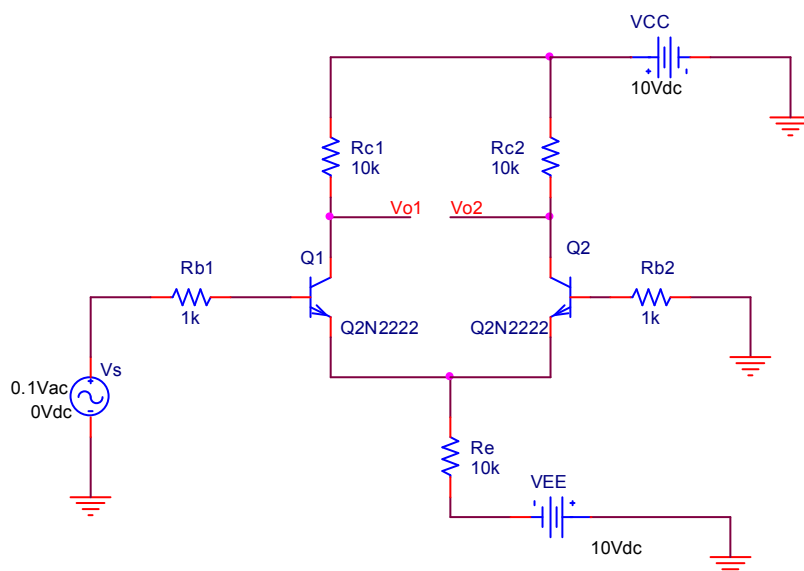
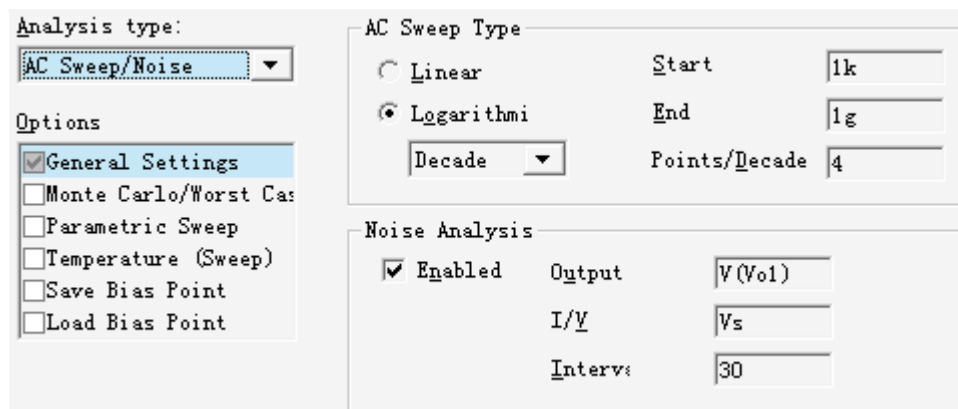


图 4.7 噪声分析

步骤:

(1) 用 Capture 软件画好电路图。建立模拟类型分组并设置参数。

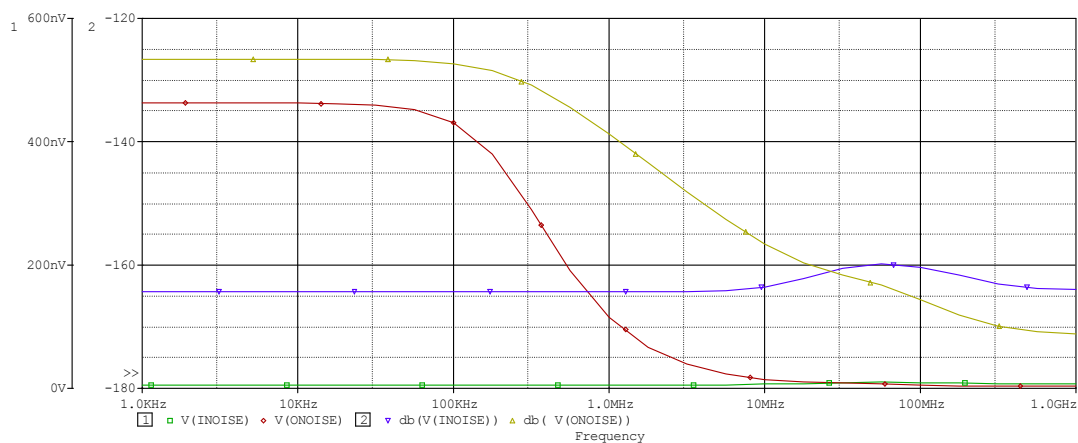


意思是以 Vo1 作为输出节点，以 Vs 作为等效噪声源，每隔 30 个频率点输出一份噪声资料。设置完后按“确定”键。

(2) 运行 PSPICE。

(3) 查看分析结果。在 Probe 窗口中，执行 Trace/Add Trace 命令，用光标

点选 V (INOISE)、V (ONoise)，即显示出指定输入端、输出端的等效噪声电压与频率的关系曲线。点选 Trace/Add Y Axis ，增加一个纵轴。在“Trace Expression”文本框中键 DB (V (INOISE))、DB (V (ONoise)) 即显示出噪声电压幅频特性。



实验五 瞬态特性分析

一 实验目的：

1. 掌握用于瞬态分析的 5 种激励信号源；
2. 掌握瞬态分析方法。

二 实验内容：

***1. 一个阻尼振荡电路如图 5.1，求其振荡波形。(li2_5_1)

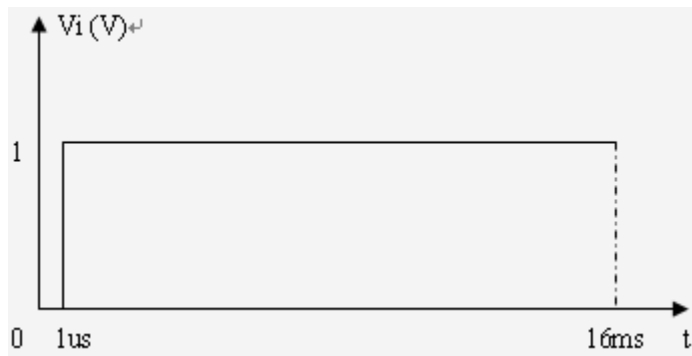
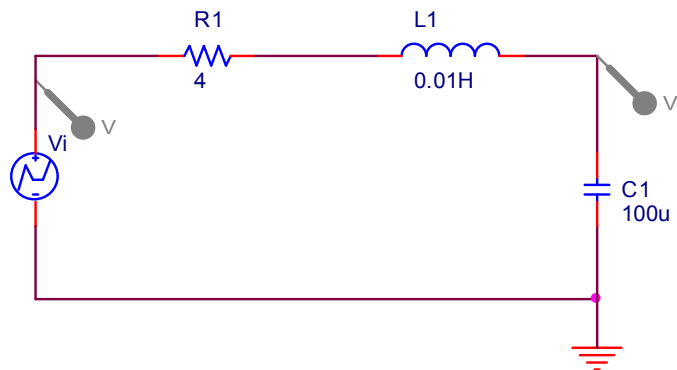


图 5.1 阻尼振荡电路

步骤:

(1) 用 Capture 软件画好电路图。正确设置输入信号。

T1	T10	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	V1	V10	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9
0		1u	16m							0		1	1						

(2) 建立模拟类型分组并设置参数。

Analysis type:

Time Domain (Transient) ▼

Options

☒ General Settings

☐ Monte Carlo/Worst Case

☐ Parametric Sweep

☐ Temperature (Sweep)

☐ Save Bias Point

☐ Load Bias Point

Run to 16ms seconds

Start saving data 0 seconds

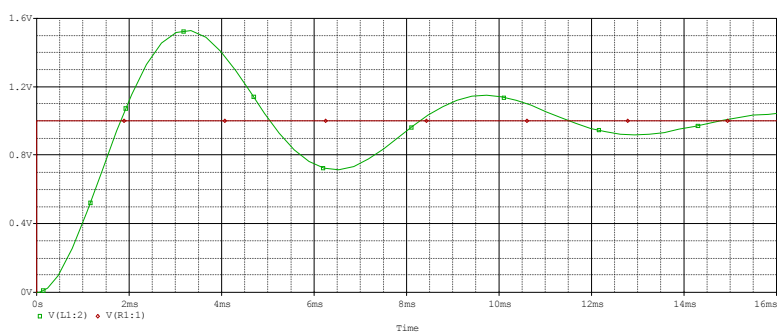
Transient options

Maximum step seconds

☐ Skip the initial transient bias point calculation

.tput File Options.

(3) 运行 PSPICE 并查看分析结果。



***2. 单管放大电路如图 5.2 所示。(li2_6_1)

求：(1) 调节偏置电压 V_{bb} 使晶体管的静态电流 $I_{CQ} \approx 1\text{mA}$ 。

(2) 输入信号为 $V_s = 20\sin(2\pi \times 1000t)\text{mV}$ ，求输出电压的波形。

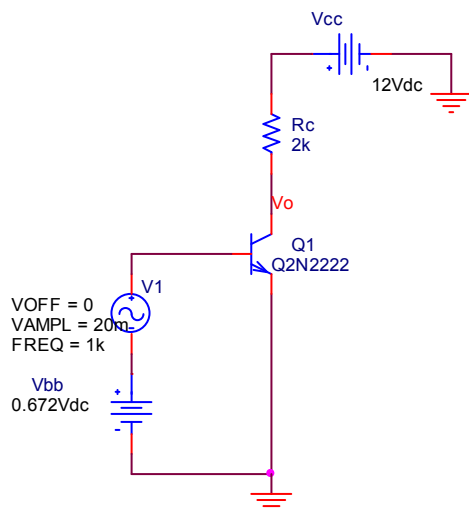


图 5.2 单管放大电路

3. 二极管双向限幅电路如图 5.3。(li5_1_2)

求：(1) 作电路的直流传输特性 $V_o = f(V_i)$ ，说明二极管的工作状态变化。

(2) 设输入信号是幅度为 1V，频率为 1KHz 的正弦电压，求 V_o 的波形。

(3) 设输入信号是幅度为 4V，频率为 1KHz 的正弦电压，求 V_o 的波形。

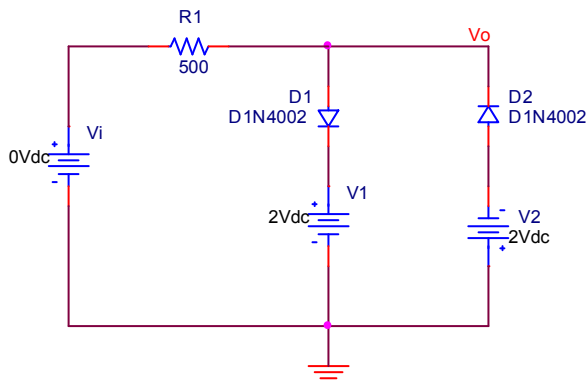


图 5.3 二极管双向限幅电路

4. 二极管半波整流滤波电路如图 5.4。(ti5_1_6)

(1) 设电容 $C1=0$, 求 V_{out} 及 i_D 的波形。

(2) 设电容 $C1=10\mu\text{F}$, 求 V_{out} 及 i_D 的波形。

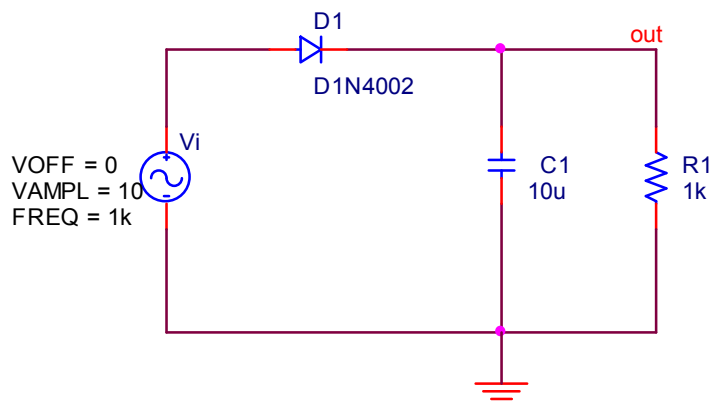


图 5.4 二极管半波整流滤波电路

5. 二极管全波整流电路如图 5.5。(ti5_1_7)

(1) 设电容 $C1=0$, 求 V_{out} 及 i_D 的波形。

(2) 设电容 $C1=10\mu\text{F}$, 求 V_{out} 及 i_D 的波形。

思考：比较与上题的半波整流滤波电路的异同。

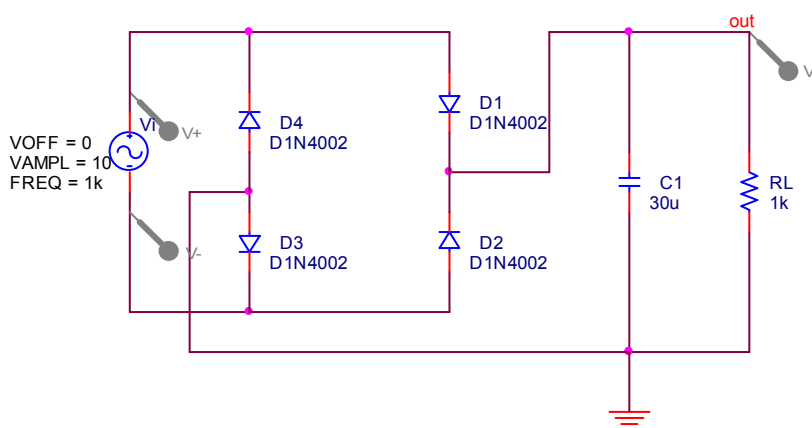


图 5.5 二极管全波整流电路

***6. 电路如图 5.6。

- (1) 调节 V_{bb} , 使 $I_{CQ} \approx 2.5\text{mA}$, 并求此时的静态工作点。
- (2) 求输出电压的幅频响应和相频响应。
- (3) 设 $V_i = 10\sin(2\pi \times 1000t)\text{mV}$, 求 i_c 、 V_{out} 的波形. (ti5_2_8)

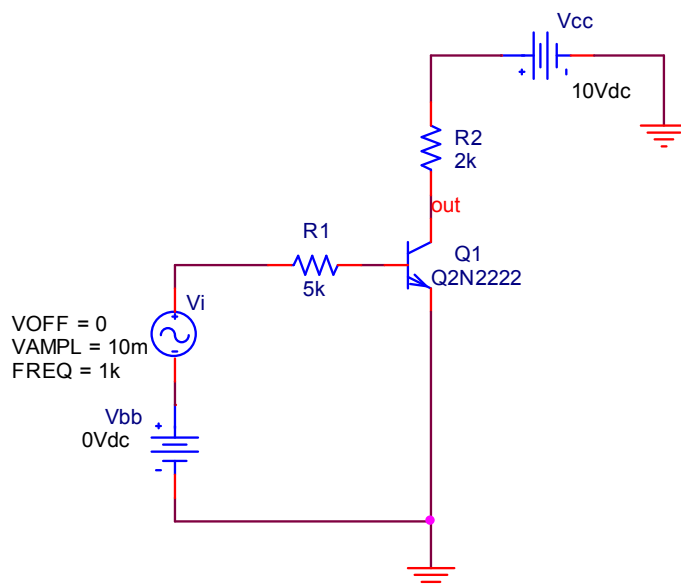


图 5.6

7. 图 5.7 是简单锯齿波发生器的原理电路。(li5_2_3)

求：晶体管集电极电流 i_c 及输出电压 V_{out} 的波形，分析电路的工作过程及晶体管的开关作用。

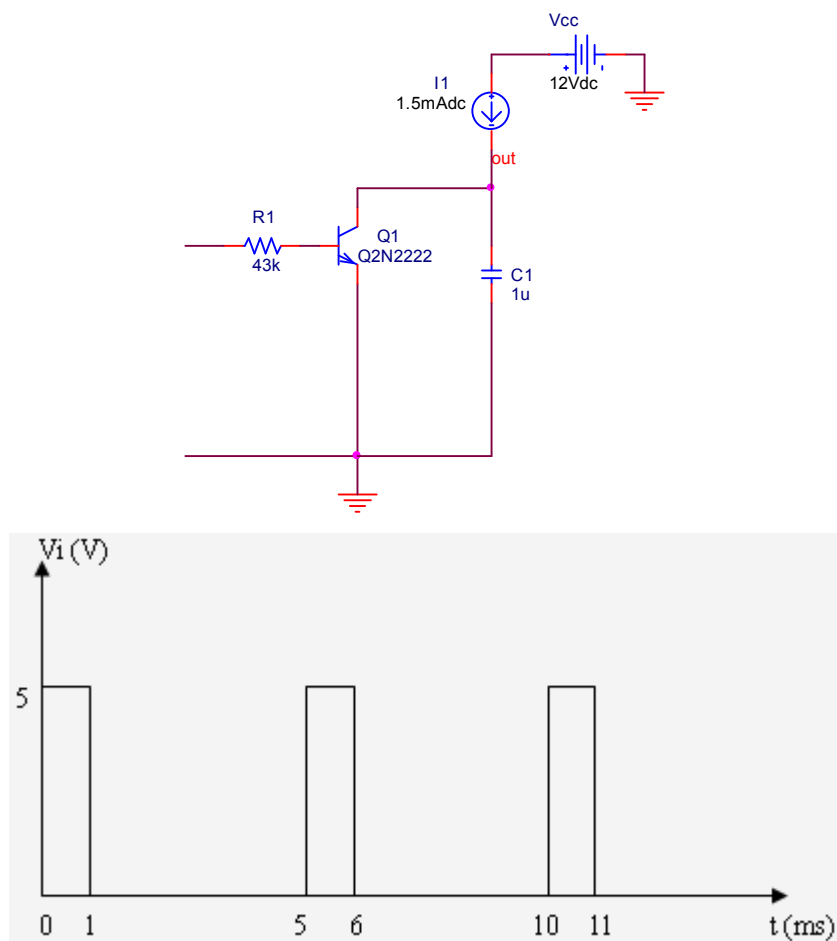


图 5.7 简单锯齿波发生器原理电路

实验六 温度分析、参数扫描分析

一 实验目的：

1. 掌握温度分析；
2. 掌握参数扫描分析。

二 实验内容

（一）温度分析

***1. 电路如图 6.1。求当输入信号为 $v_{i1} = -v_{i2} = 10 \sin(2\pi \times 1000t) \text{ mV}$ ，温度为 -50°C 、 0°C 、 27°C 、 100°C 时的双端输出电压波形。（wendu）

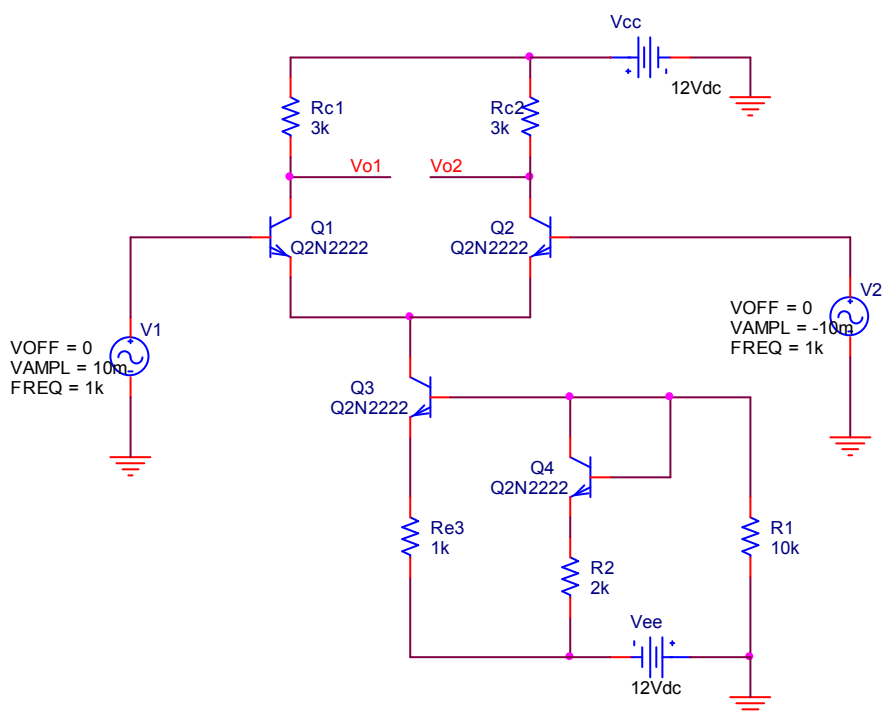


图 6.1 温度分析

步骤：

用 Capture 软件画好电路图。建立模拟类型分组并设置参数。

Analysis type:
Time Domain (Transi ▾)

Options

☒ General Settings

☐ Monte Carlo/Worst Case

☐ Parametric Sweep

☒ Temperature (Sweep)

☐ Save Bias Point

☐ Load Bias Point

Run to 5m seconds

Start saving data 0 seconds

Transient options

Maximum step seconds

☐ Skip the initial transient bias point calc.

.tput File Options.

Analysis type:
Time Domain (Transi ▾)

Options

☒ General Settings

☐ Monte Carlo/Worst Case

☐ Parametric Sweep

☒ Temperature (Sweep)

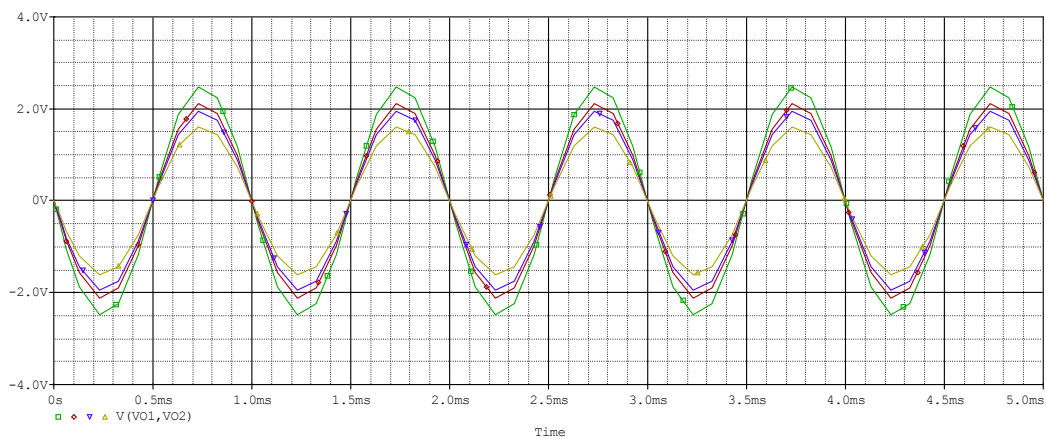
☐ Run the simulation at temper °

☒ Repeat the simulation for each of the temj

-50 0 27 100 °

Enter a list of temperatures, separated by spaces.
For example, 0 27 125

运行 PSPICE 并查看分析结果。



(二) 参数扫描分析

***1. 基本放大电路如图 6.2。

- (1) 输入端加一正弦信号，分析当基极电阻 R_b 变化时，对输出波形的影响；
- (2) 求 R_b 为多大时， $I_c \approx 3\text{mA}$ ，并求此时电路的静态工作点。(canshusaomiao)

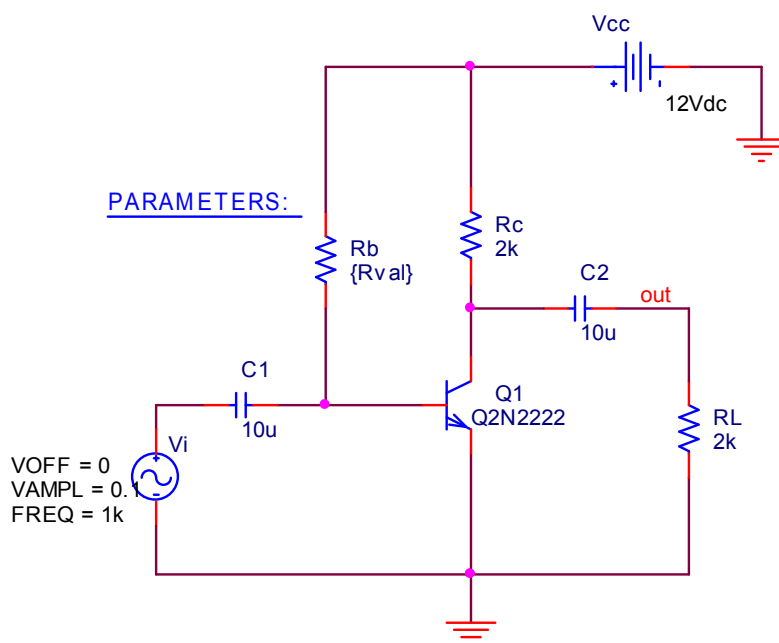
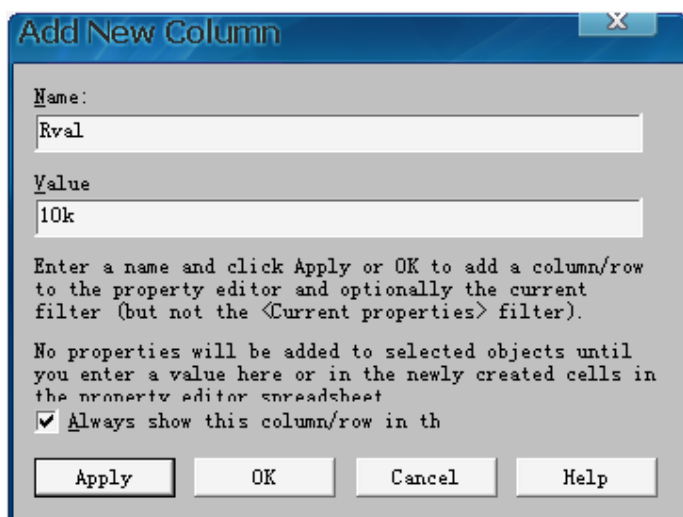


图 6.2 参数扫描分析

步骤：

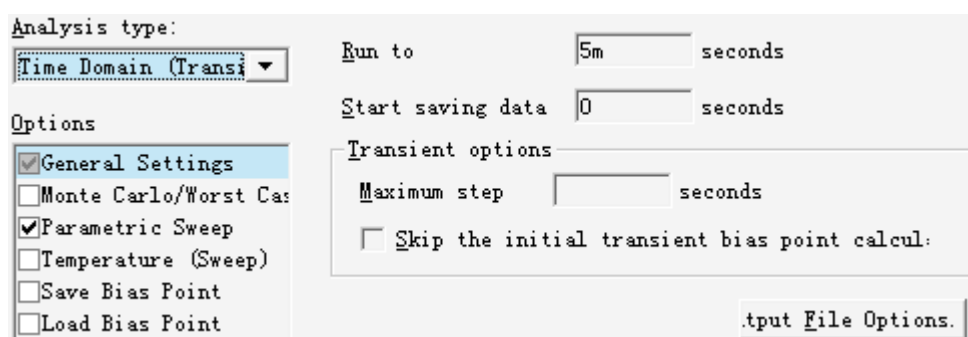
(1) 用 Capture 软件画好电路图，并作如下修改：

- ① 将基极电阻 R_b 设置为参数。用鼠标左键双击 R_b 的阻值 360k，在出现的“Display Properties”设置框中，将其值改为 {Rval}（注：大括号不能省略）。
- ② 用参数符号设置阻值参数。从 SPECIAL 库中调出名为 PARAM 的符号，放在 R_b 旁。双击该符号，屏幕上出现元器件属性编辑器。按 New 按钮，在新增属性参数对话框的 Property 栏中键入 Rval 和阻值（表示进行其它分析时的阻值为 10k）并按 OK 按钮。

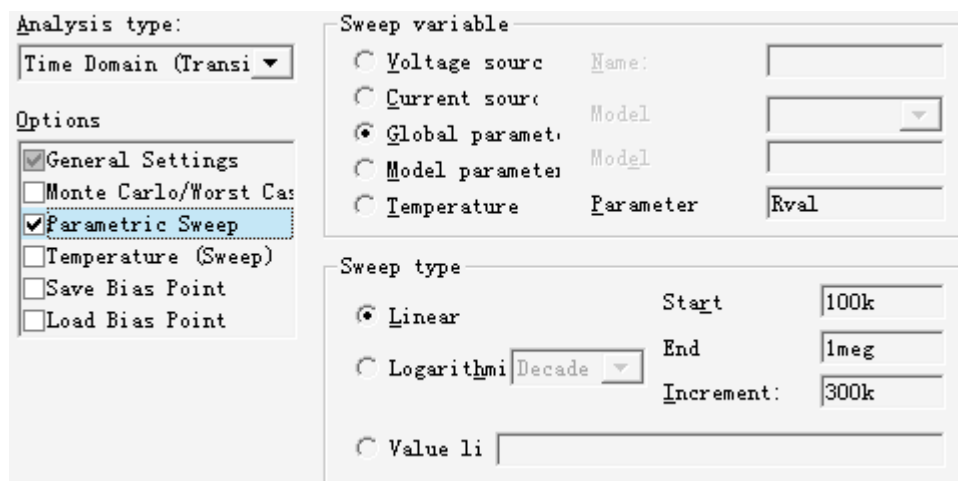


(2) 建立模拟类型分组并设置参数。

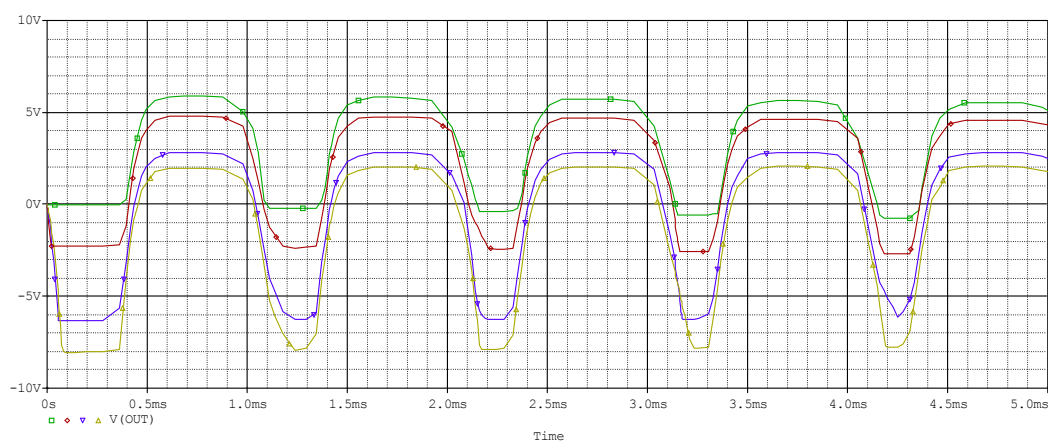
基本分析类型参数设置：



参数扫描分析类型参数设置：



(2) 运行 PSPICE 并查看分析结果。



- ***2. 电路如图 6.3，求：(1) 当 $R_e=100\ \Omega$ 时，调节直流电压 V_{bb} ，使 $I_{CQ}\approx 1\text{mA}$ ；
 (2) 输入信号为幅度为 0.1V ，频率为 1KHz 的正弦波，求 $R_e=50\ \Omega$ ， $100\ \Omega$ 时的输出电压波形；
 (3) 求此电路的放大倍数， f_L ， R_i ， R_o ，考察此电路的带负载能力。(ti6_1_2)

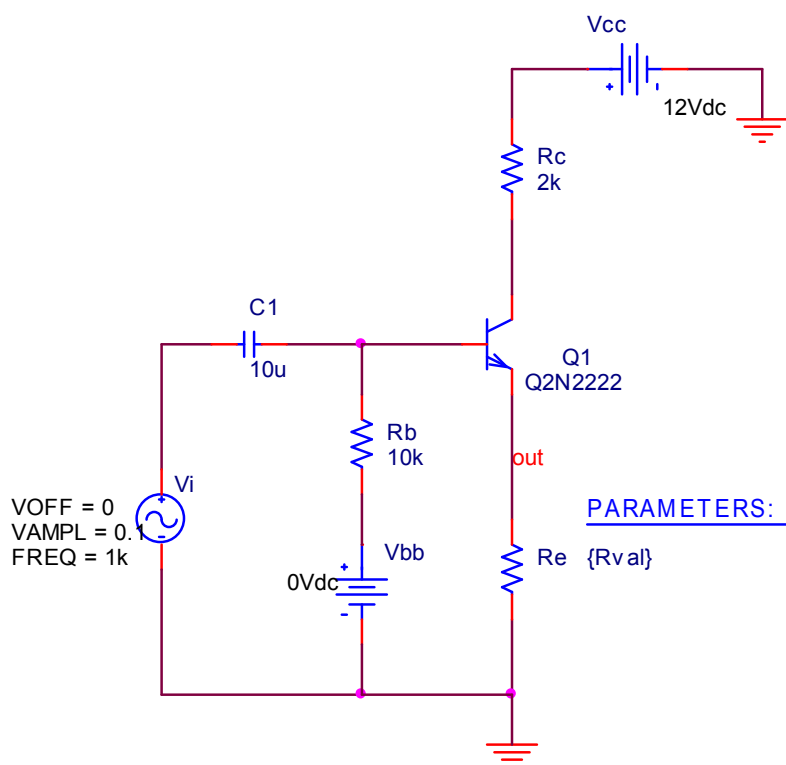


图 6.3

实验七 蒙托卡诺分析、最坏情况分析

一 实验目的:

1. 掌握蒙托卡诺分析;
2. 掌握最坏情况分析。

二 实验内容:

- ***1. 一个带通滤波网络如图 7.1 所示。网络中三个电容的容值为 $0.0039\mu\text{F}$ ，容差为 $\pm 15\%$ ，试用蒙托卡诺分析计算输出电压的频率响应的变化。
(mengtuokanuo)

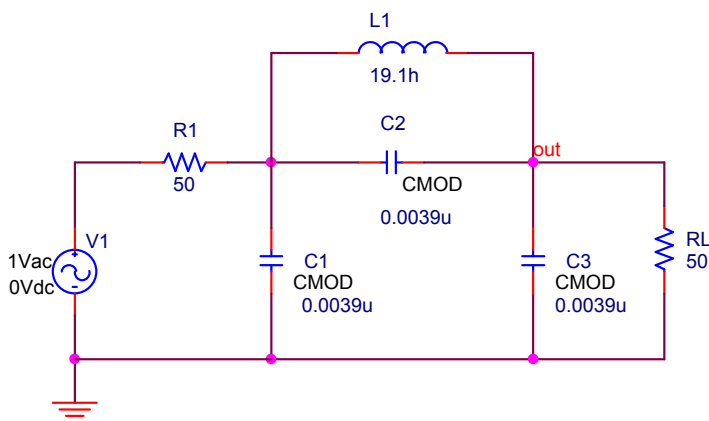
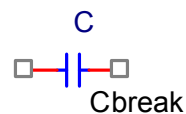


图 7.1 蒙托卡诺分析

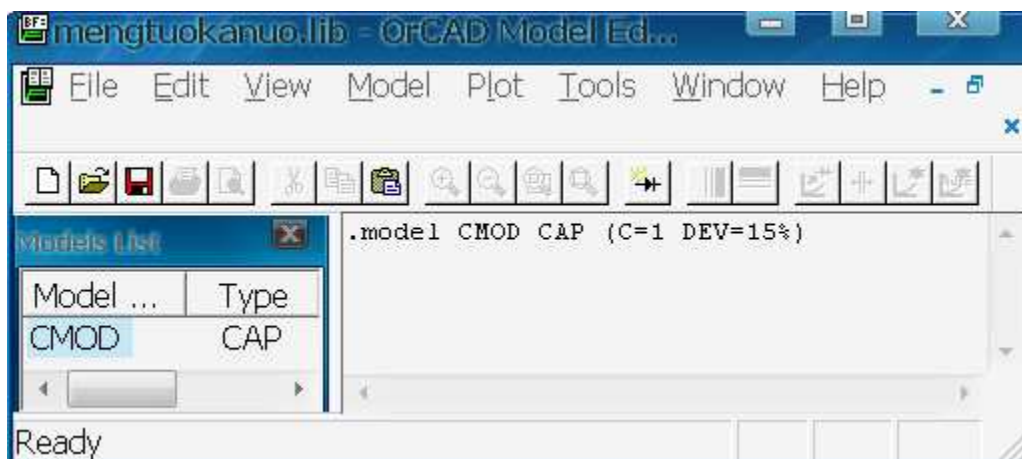
步骤:

(1) 用 Capture 软件画好电路图。

① C1、C2、C3 为 BREAKOUT 库中的元件 Cbreak。

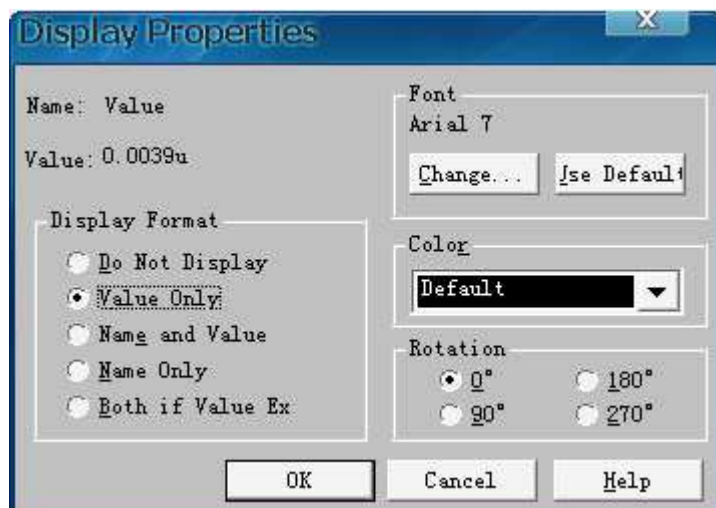


②对 C1、C2、C3 作如下修改: 选中整个电容, Edit/PSPICE Model, 并作如下修改:



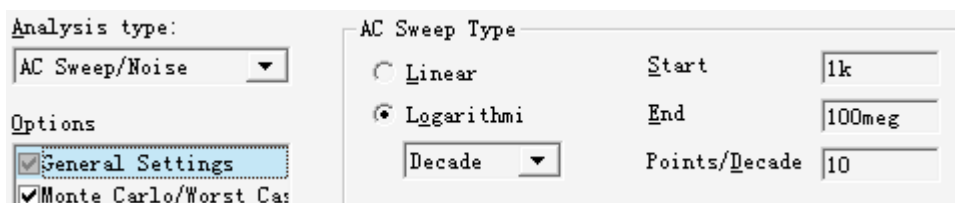
③双击整个电容进行属性设置，将其值设置为 0.0039u 并将其显示：

New Column...		Apply	Display...	Delete Property	Filter	PSpice
		Reference	Value	R1	IC	
1	+	SCHEMATIC1: PAGE1: C1	C1	0.0039u		

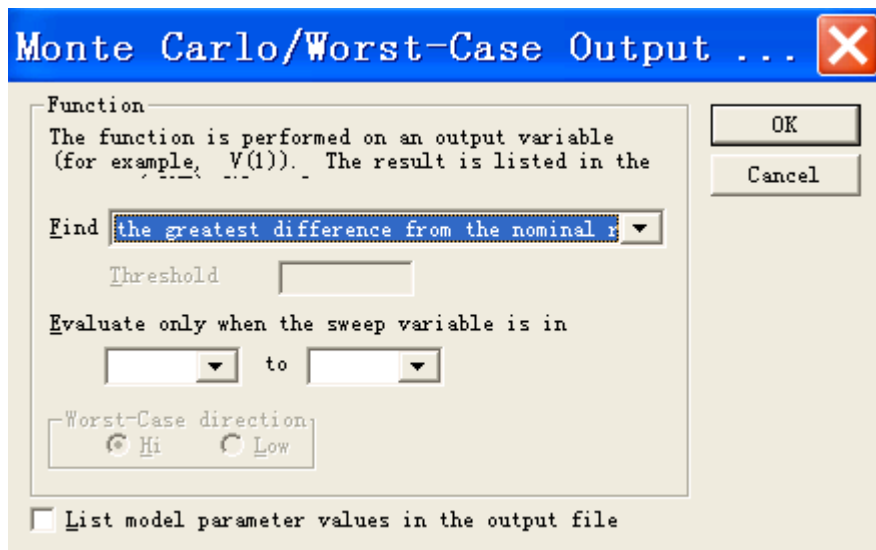
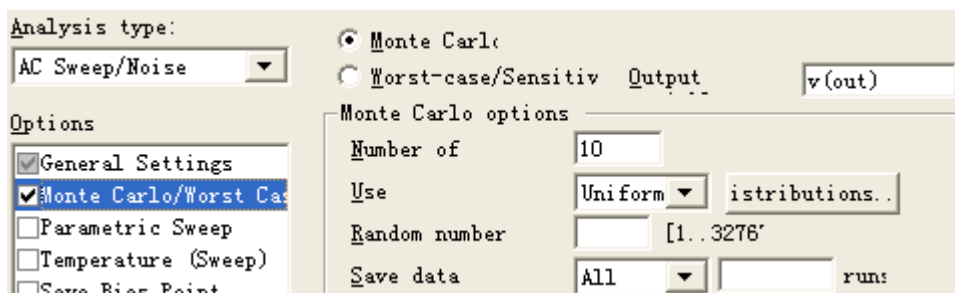


(2) 建立模拟类型分组并设置参数。

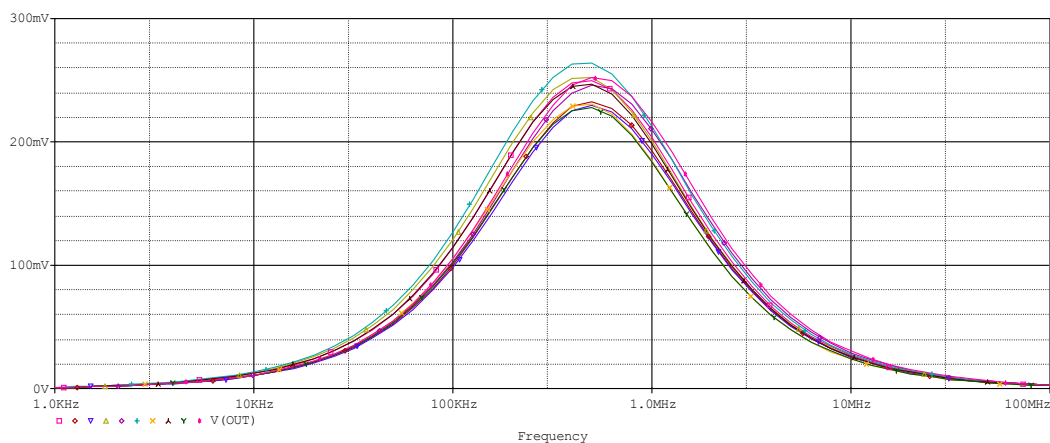
基本分析类型参数设置：



蒙特卡诺分析参数设置：



(3) 运行 PSPICE 并查看分析结果。



***2. 对图 7.2 所示滤波器电路的频率响应进行最坏情况分析，滤波器中三个电容值为 $0.0039\mu\text{F}$ ，容差为 $\pm 15\%$ ，电感值为 19.1H ，容差为 $\pm 20\%$ 。
(zuihuai)

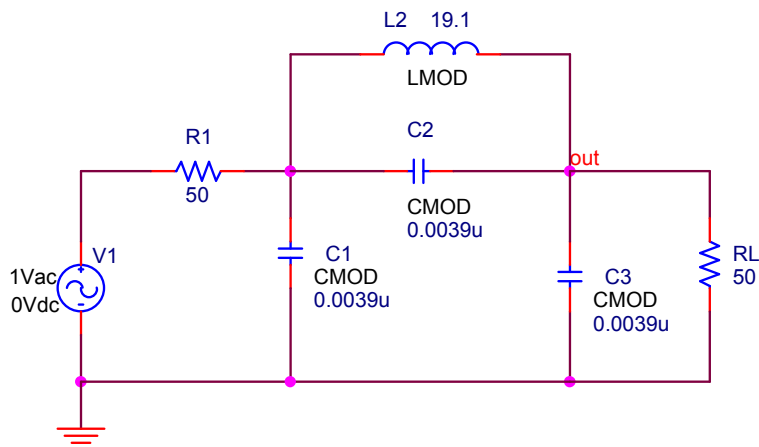


图 7.2 最坏情况分析

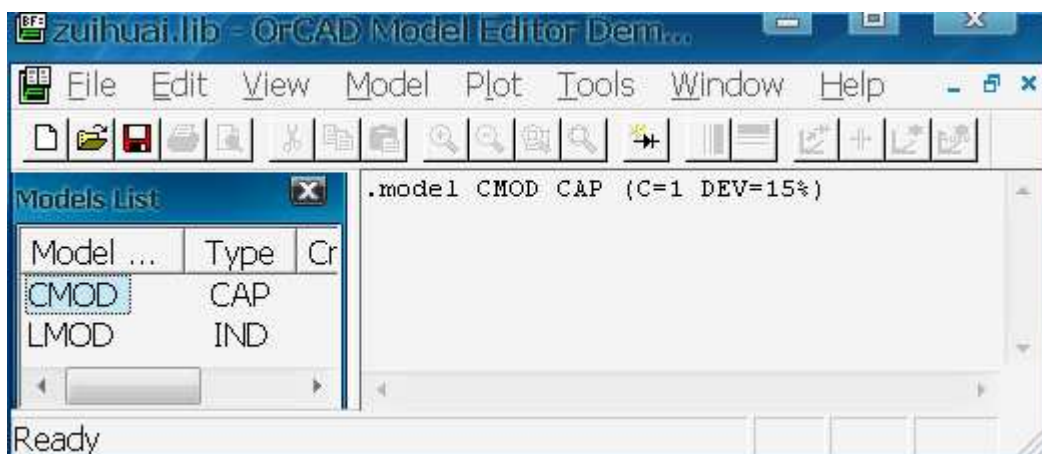
步骤：

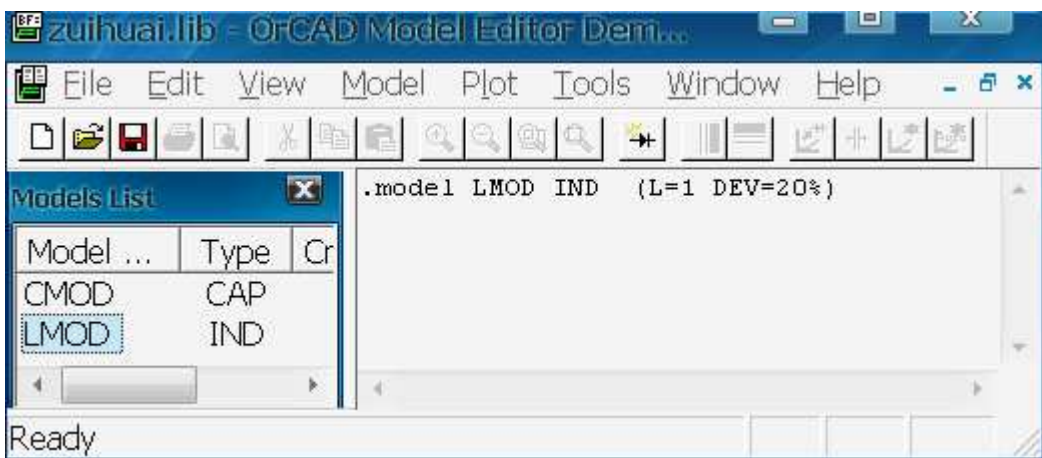
(1) 用 Capture 软件画好电路图。

① C1、C2、C3 为 BREAKOUT 库中的元件 Cbreak；

L 为 BREAKOUT 库中的元件 Lbreak。

②对 C1、C2、C3、L 进行修改：选中整个器件，Edit/PSPIICE Model，并修改如下：

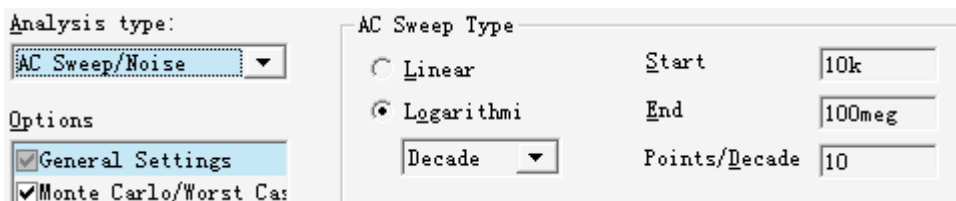




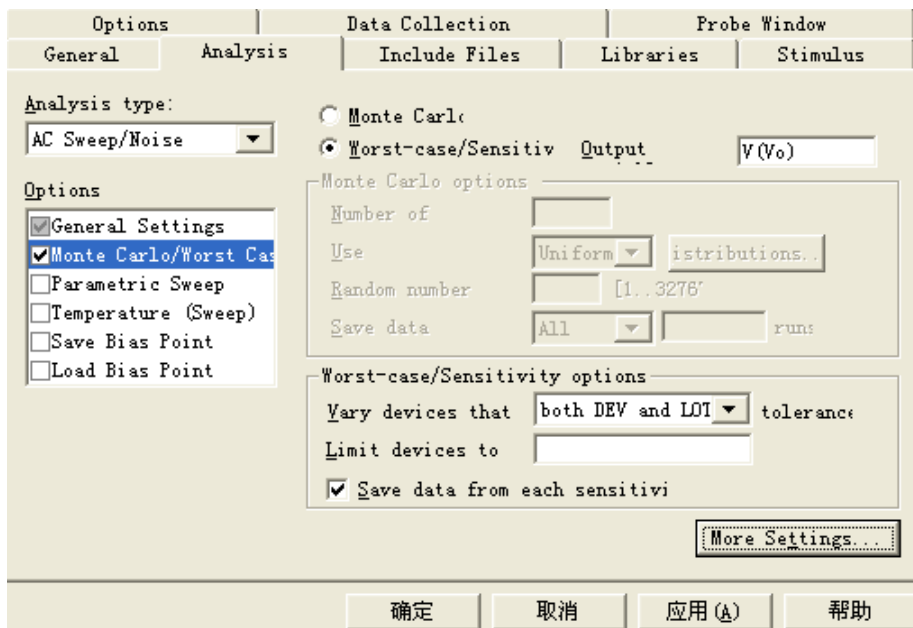
- ③双击整个电容进行属性设置，将其值设置为 0.0039u，并在电路图中显示；
双击整个电感进行属性设置，将其值设置为 19.1，并在电路图中显示。

(2) 建立模拟类型分组并设置参数。

基本分析类型参数设置：



最坏情况分析参数设置：



Monte Carlo/Worst-Case Output ...

Function
The function is performed on an output variable (for example, V(1)). The result is listed in the

Find the greatest difference from the nominal

Threshold

Evaluate only when the sweep variable is in

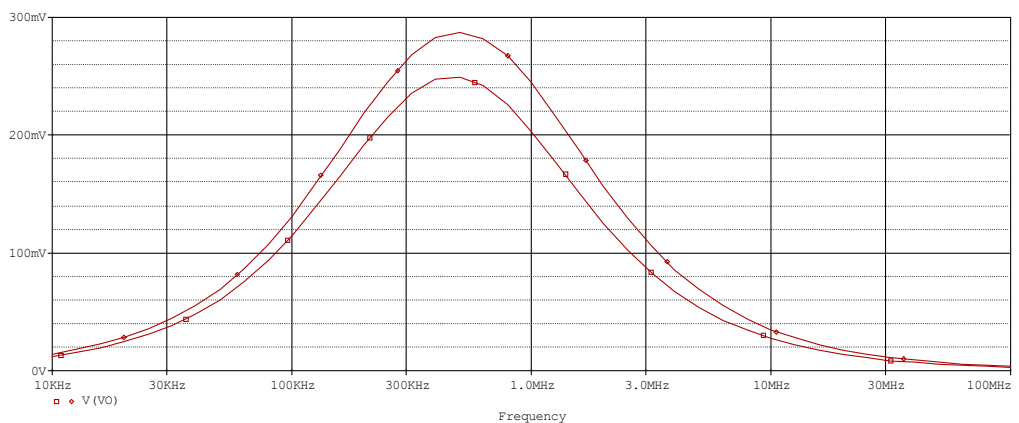
to

Worst-Case direction
☐ Hi ☒ Low

☒ List model parameter values in the output file

OK Cancel

(3) 运行 PSPICE 并查看分析结果。



3. 差动放大电路如图 7.3，电阻 R_{bias} 的阻值为 $20K\Omega$ ，误差为 10%，求最坏情况时，输出有多大的偏移量。(zuihuai2)

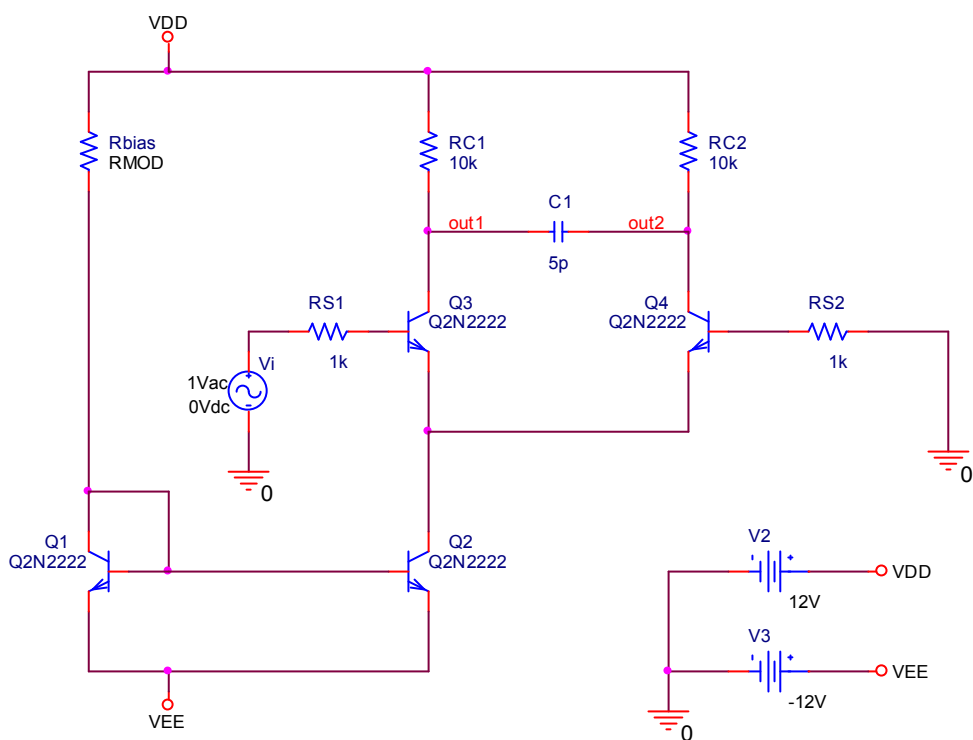


图 7.3

4. 电路如图 7.4，求：

- (1) 求电路的直流工作点；
- (2) 求节点 out1 的直流灵敏度；
- (3) 求电压增益、输入电阻、输出电阻、通频带；
- (4) 已知信号源：幅度为 10mV，频率为 1KHz 的正弦波，求 out 节点的输出电压波形；
- (5) 调节电阻 Rb1，使电路直流工作点 $I_{CQ} \approx 2\text{mA}$ ；
- (6) 电阻 Rb1 的误差为 $\pm 10\%$ ，电阻 Rb2 的误差为 $\pm 5\%$ ， $V(\text{out})$ 减小为最坏方向，求电路元件取标称值和最坏情况时的输出电压幅值；
- (7) 求 R_L 为 1k—50k 时，输出电压的幅频响应与 R_L 的关系曲线。

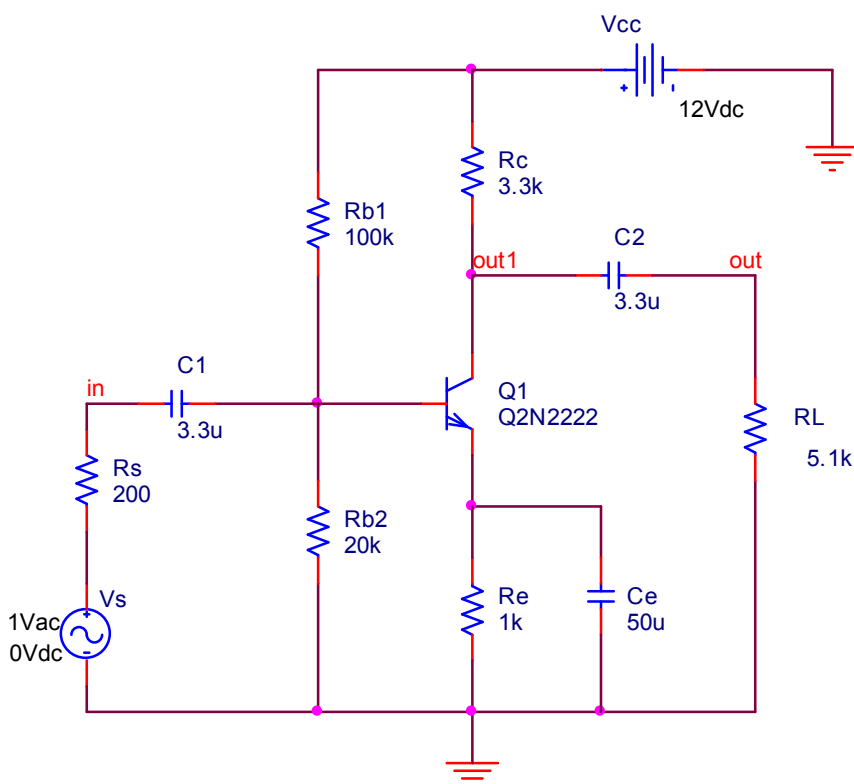


图 7.4

实验八 综合实验

一、实验目的：

1. 掌握基本运算电路的分析与设计；
2. 掌握有源滤波电路的分析与设计；
3. 掌握整流电路的分析与设计；
4. 掌握波形产生电路的分析与设计；
5. 掌握电压比较电路的分析与设计。

二、实验内容：

（一）模拟运算及处理电路

***8.1.1 反相电压放大电路如图 8.1.1，求：

（1） $V(Vo1)$ 和 $V(Vo)$ ；

（2）计算电路的开环电压增益 $A_{vo} = \left| \frac{V_o}{V_P - V_N} \right|$ 、闭环电压增益 $A_v = v_o / v_i$ 、上限截

止频率 f_H 、输入电阻 R_i ；如不加第一级跟随器，求电路的输入电阻 R_i 。

（3）若输入信号是高、低电平分别为 +1V，-1V，周期为 80us 的方波脉冲，求输出电压 $Vo1$ 、 Vo 波形，确定其转换速率 S_R (1i8_2_1)

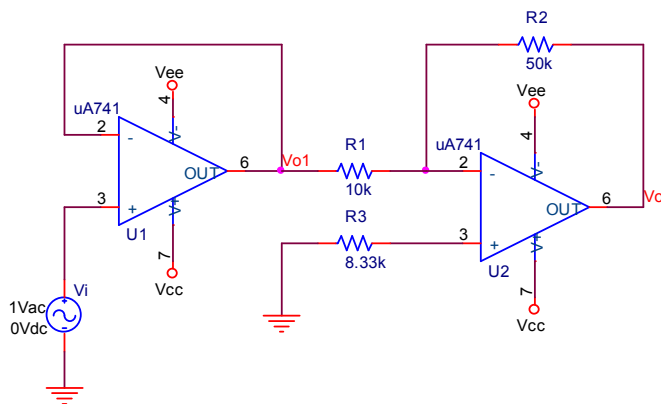


图 8.1.1 反相电压放大电路

8.1.2 在实际应用中，为了使用阻值较小的电阻，达到数值较大的比例系数，并且具有较大的输入电阻，可采用 T 型网络反比例电路，电路如图 8.1.2。运放工作电压为 $\pm 12\text{V}$ 。

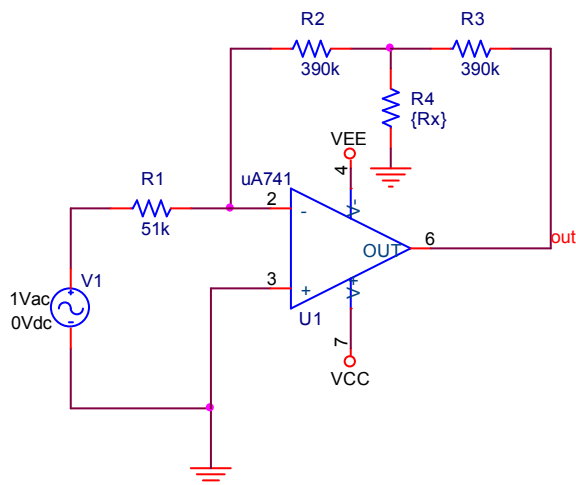


图 8.1.2 T 型网络反比例电路

- (1) 求电阻 R_4 为多少时，电路的放大倍数为 100 倍。
- (2) 若用 R_2 代替 T 型网络，当放大倍数为 100 时， $R_2 = ?$

8.1.3 图 8.1.3 是采用自举扩展原理组成的高输入电阻反相电压放大电路，运放 U1 组成反相比例运算电路，U2 为辅助放大电路，它在电路内部提供部分信号电流 (i_2)，以减少输入电流 i_i ，提高输入电阻 R_i 。试计算电阻 R7 开路时和分别为 $15\text{K}\Omega$ 、 $12\text{K}\Omega$ 、 $11\text{K}\Omega$ 、 $10.5\text{K}\Omega$ 时的电压增益 $A_{vf} = v_o / v_i$ 及输入电阻 $R_i = v_i / i_i$ 。若 $R_7=10\text{K}\Omega$ 和小于 $10\text{K}\Omega$ 会发生什么现象？ (ti8_2_2)

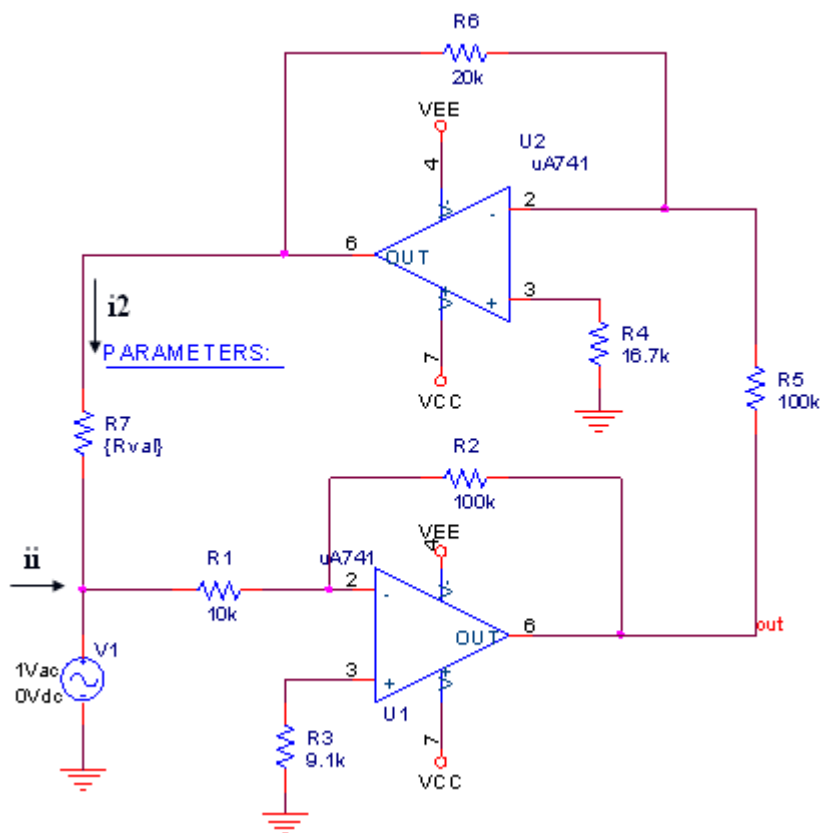


图 8.1.3 高输入电阻反相电压放大电路

8.1.4 反相比例加法运算电路如图 8.1.4，验证电路功能。(fxb1jf)

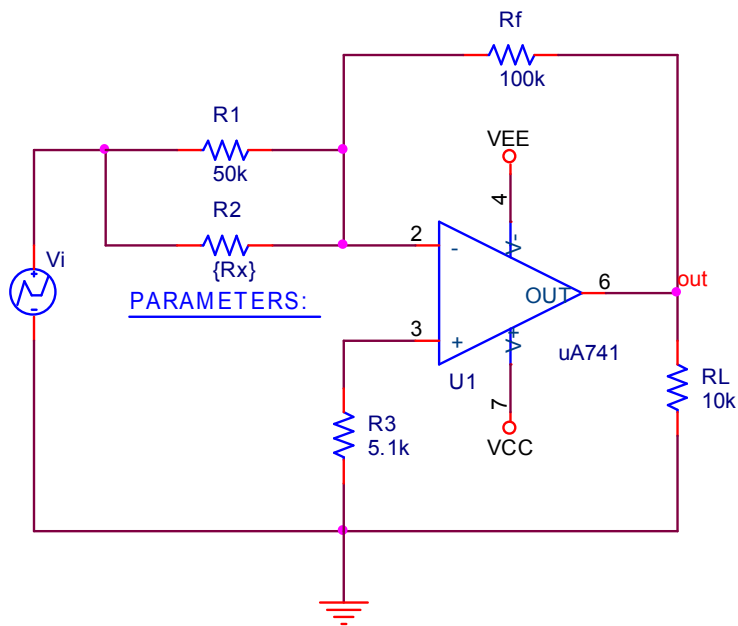


图 8.1.4 反相比例加法运算电路

8.1.5 减法电路如图 8.1.5，验证电路功能。(jianfa)

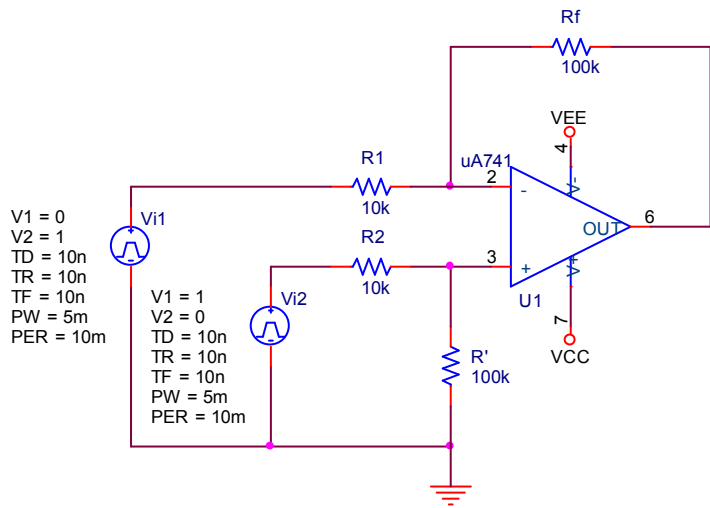


图 8.1.5 减法电路

8.1.6 电路如图 8.1.6，求：

- (1) 三极管的 c, b, e 各级的电位值
- (2) 输出电压的值。(ti2_3_5)

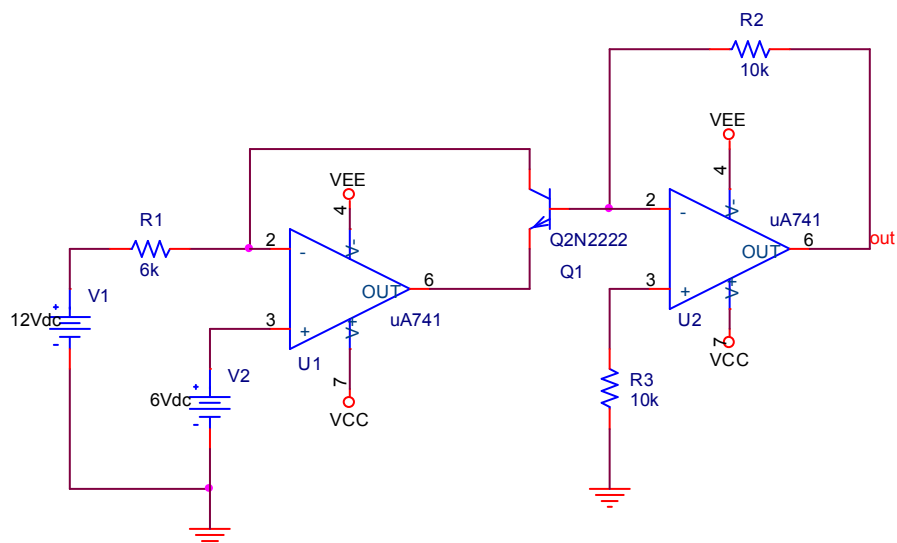


图 8.1.6

***8.1.7 积分电路如图 8.1.7，求电阻 R_1 分别为 $2\text{K}\Omega$ 和 $4\text{K}\Omega$ 时，

- (1) 设输入信号是幅度为 1V ，持续时间分别为 1ms 、 4ms 的阶跃信号，求输出电压波形。
- (2) 设输入信号是幅度为 1V ，频率为 1KHz 的正弦波，求输出电压波形。
- (3) 设输入信号是高、低电平分别为 $+1\text{V}$ 、 -1V ，周期为 2ms 的方波电压，求输出电压波形和上升、下降速率。
- (4) 若将上述输入方波电压的周期改为 12ms ，求输出电压波形。
- (5) 设 $R_1=10\text{K}$ ， $C_1=5\text{nF}$ ，设输入信号为下图，求输出电压波形，

$$v_o(40\mu) = ?, v_o(120\mu) = ? \text{。 (1i8_2_2)}$$

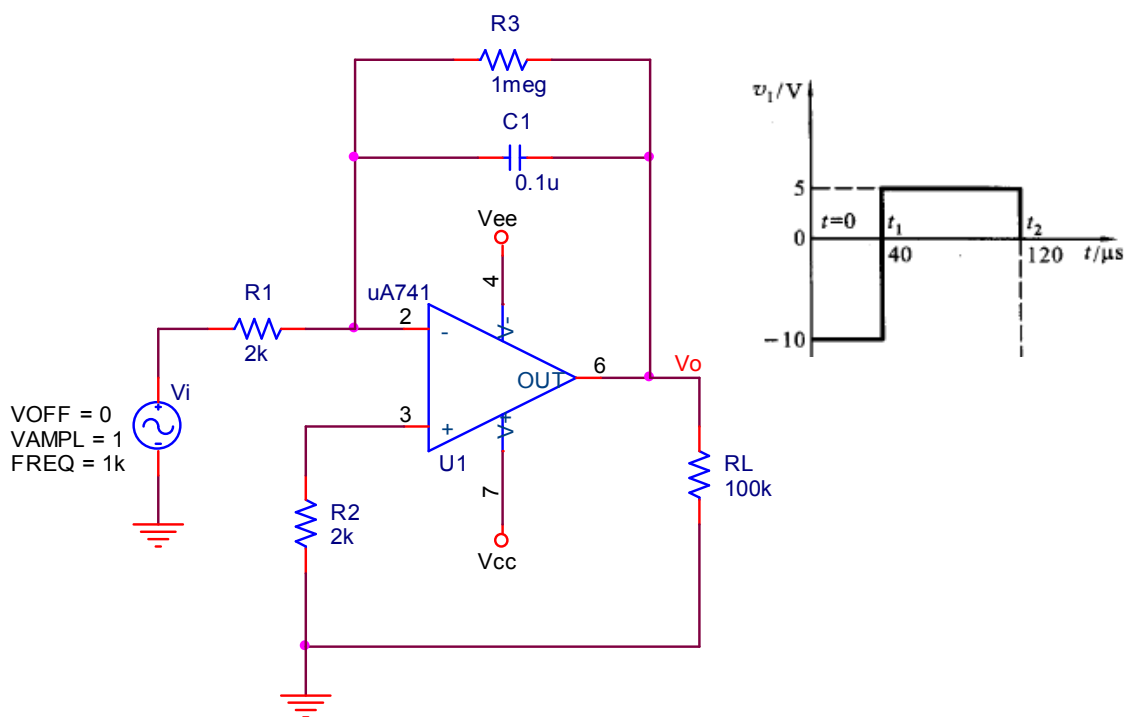


图 8.1.7 积分电路

8.1.8 图 8.1.8 所示为同相积分电路。

- (1) 设输入电压 $v_i = \sin(2\pi \times 100t)V$ ，求输出电压波形，确定其峰峰值。
- (2) 设输入电压是高、低电平分别为 +1V 和 -1V，周期为 2ms 的方波，求输出电压波形，确定该波形的峰峰值及上升、下降速率。(ti8_2_6)

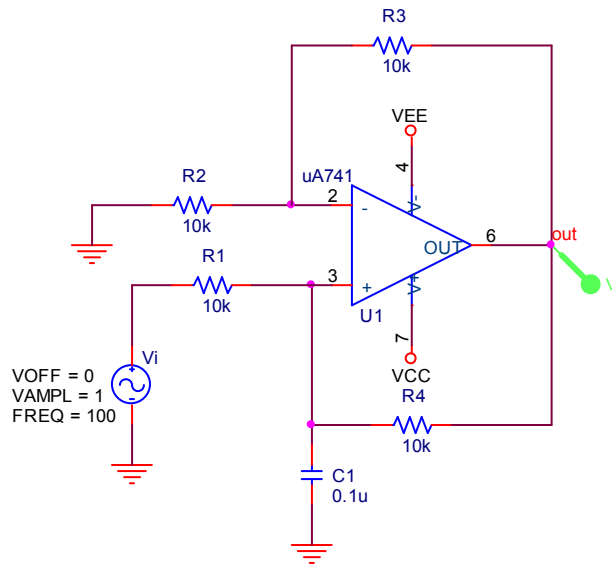


图 8.1.8 同相积分电路

8.1.9 图 8.1.9 所示为积分时间常数取值范围很宽的积分电路，通常取 $R_1=R_3$,

$R_2=R_f$ ，它可实现 $v_o(t) = -\frac{R_f}{R_1 R_5 C_1} \int v_i dt$ 的运算。

- (1) 作直流分析，求电路的直流工作点；
- (2) 设输入信号 $v_i = \sin(2\pi \times 100t)V$ ，求 v_o 的波形；
- (3) 设输入信号是高、低电平分别为 $+1V$ ， $-1V$ ，周期为 $2ms$ 的方波，求输出电压波形，确定其幅度及上升、下降速率；
- (4) 如果输入信号是高电平为 $1V$ ，低电平为 $0V$ ，周期为 $2ms$ 的方波 ($t=0$ 时为低电平)，将会发生什么现象？(ti8_2_7)

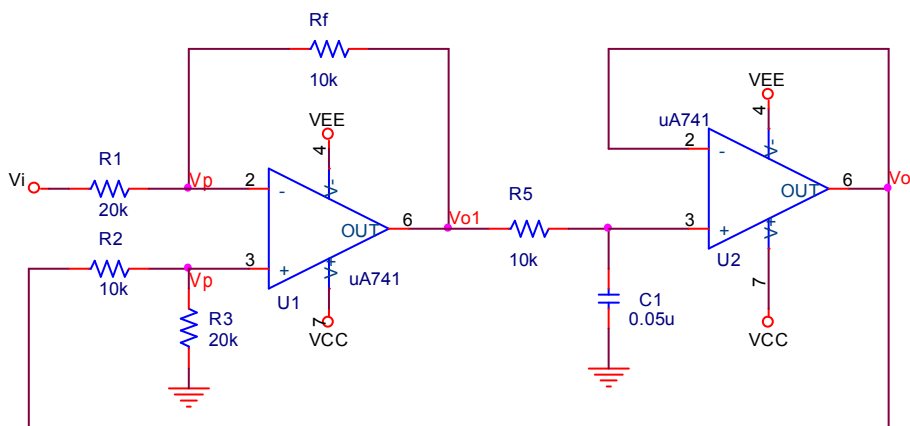


图 8.1.9 宽范围积分电路

8.1.10 电路如图 8.1.10。运放选用 LF411，电源电压为 $\pm 15\text{V}$ ，电容器的初始电压 $v_c(0) = 0$ 。

- (1) 当输入电压 v_i 的幅度为 1V ，频率为 1K 的方波时，求输出电压的波形；
- (2) 去掉电阻 R_2 ，重复 (1)；
- (3) 输入脉冲电压信号，正向幅度为 9V ，宽度为 $10\mu\text{s}$ ，负向幅度为 -1V ，宽度为 $90\mu\text{s}$ ，周期 T 为 $100\mu\text{s}$ ，求输出电压的波形。(118_1)

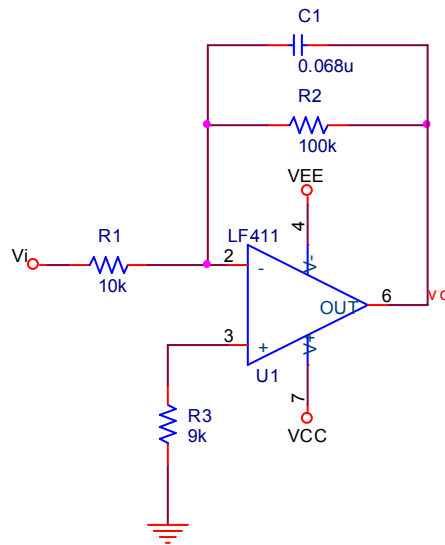


图 8.1.10

8.1.11 积分电路如图 8.1.11，运放选用 uA741，供电电源为 $\pm 12\text{V}$ 。已知初始状态时 $V_c(0)=0$ 。

- (1) 当 $R=100\text{k}\Omega$ ， $c=2\mu\text{F}$ 时，若突然加入 $v_i(t)=1$ 的阶跃电压，求 1s 后输出电压 v_o 的值；
- (2) 当 $R=100\text{k}\Omega$ ， $c=0.47\mu\text{F}$ 时，输入电压波形如图，求输出电压 v_o 的波形，并标出 v_o 的幅值和回零时间。(ti2_4_8)

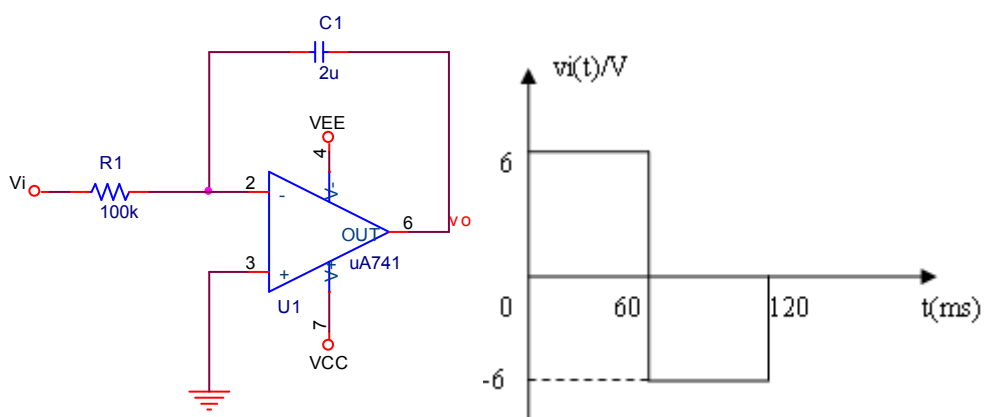


图 8.1.11

***8.1.12 如图 8.1.12 所示为一微分电路，运放选用 uA741。(ti8_2_8)

(1) 设电阻 $R_1=0$ ，输入信号 v_i 分别是：

高、低电平分别为 +1V, -1V，周期为 20s 的方波；

幅度为 1V，周期为 40ms 的三角波，求输出电压的波形。

(2) 设电阻 $R_1=1K, 2.5K, 5K$ ，输入信号不变，求这三种情况下输出电压的波形。通过上述计算，观察电阻 R_1 的补偿作用。

(3) 设输入信号为正弦波： $v_i = \sin(\omega t)$ ，求输出波形？

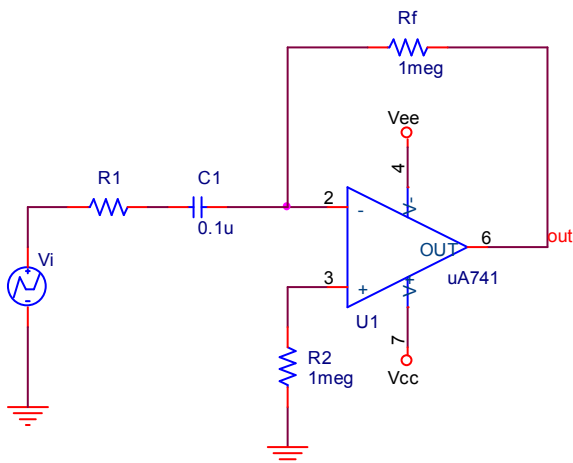


图 8.1.12 微分电路

8.1.13 电路如图 8.1.13，运放为 uA741，若输入电压 v_{i1} , v_{i2} 的波形如图，求 $t=0-1s$ 和 $t=1-2s$ 时输出电压的波形。(weifen2)

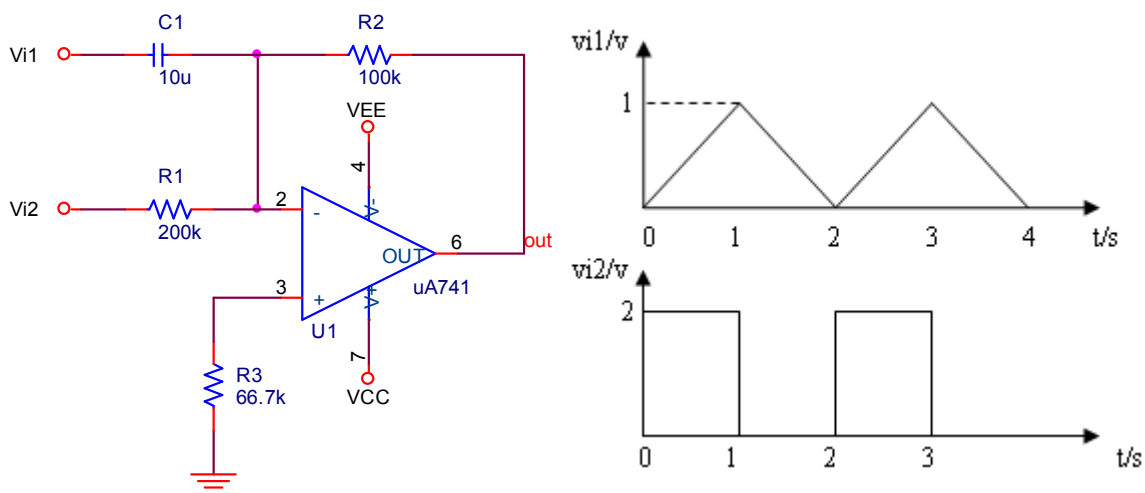


图 8.1.13

8.1.14 图 8.1.14 所示是增益可调的差动放大电路，调节电阻 R_7 可以改变电压增益 $A_{VD} = v_o / (v_{i1} - v_{i2})$ 。计算电阻 R_7 从 $1-10k\Omega$ 变化时（低频）电压增益的变化曲线，确定增益的调节范围。(ti8_2_5)

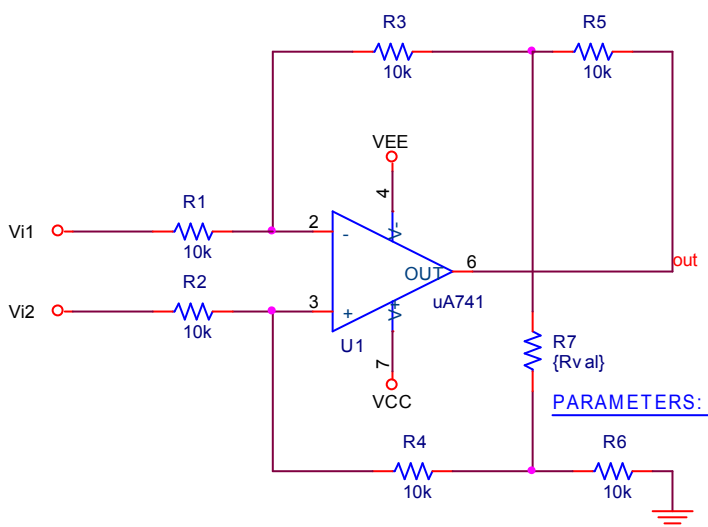


图 8.1.14 增益可调的差动放大电路

(二) 有源滤波电路

8.2.1 二阶有源低通滤波器如图 8.2.1。求截止角频率和通带电压增益，并画出其波特图。(erjiejouyuanditong)

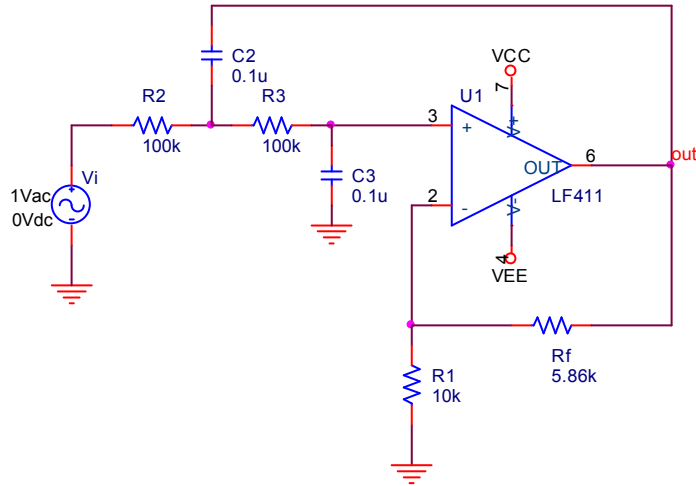


图 8.2.1 二阶有源低通滤波器

8.2.2 四阶巴特沃思低通滤波器如图 8.2.2。求通带增益、截止频率和幅频特性曲线。(sijiebatewosiditong)

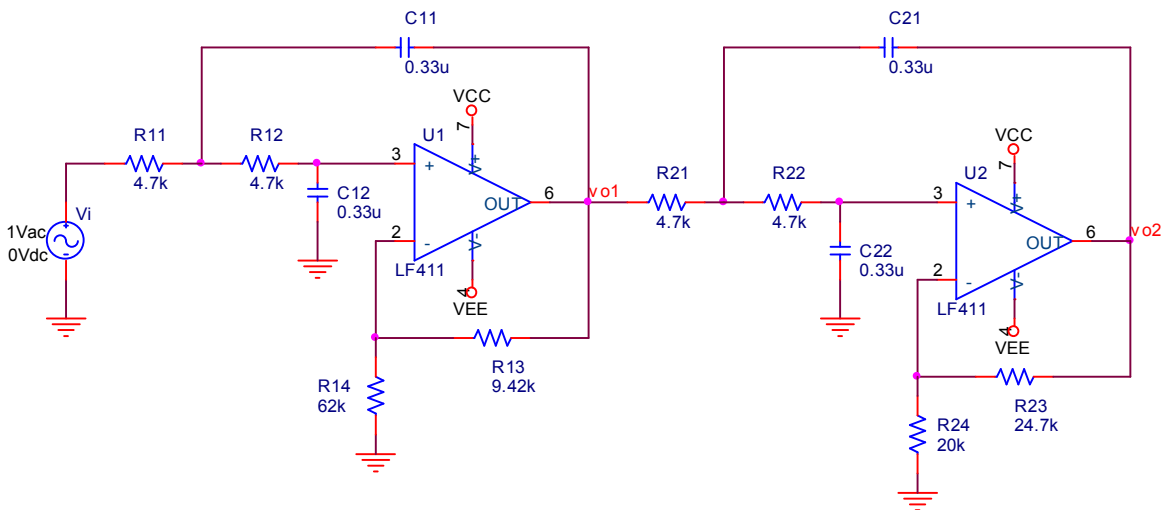


图 8.2.2 四阶巴特沃思低通滤波器

8.2.3 二阶有源高通滤波器如图 8.2.3。求截止角频率和通带电压增益，并画出其波特图。(erjiyouyuangaotong)

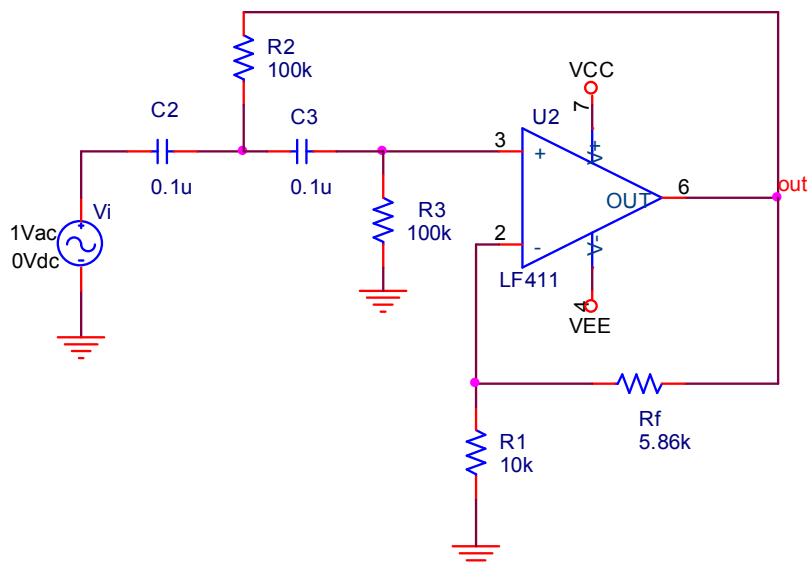


图 8.2.3 二阶有源高通滤波器

8.2.4 四阶巴特沃思高通滤波器如图 8.2.4。求通带增益、截止频率和幅频特性曲线。(sijiebatewosigaotong)

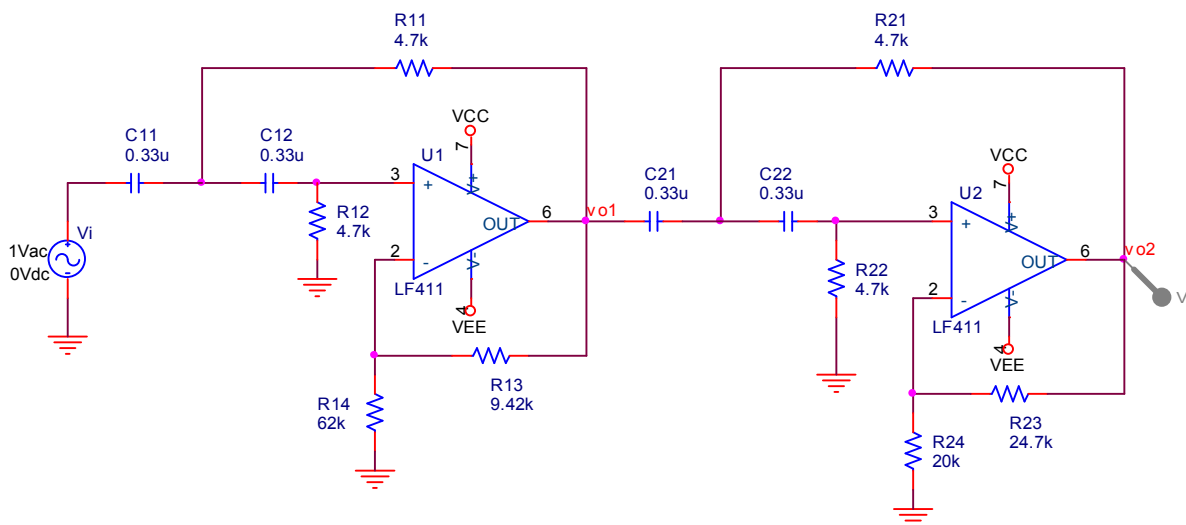


图 8.2.4 四阶巴特沃思高通滤波器

8.2.5 二阶有源带通滤波器电路如图 8.2.5。求中心频率 f_0 和带宽 BW，以及电路的幅频特性曲线。(erjieyouyuandaitong)

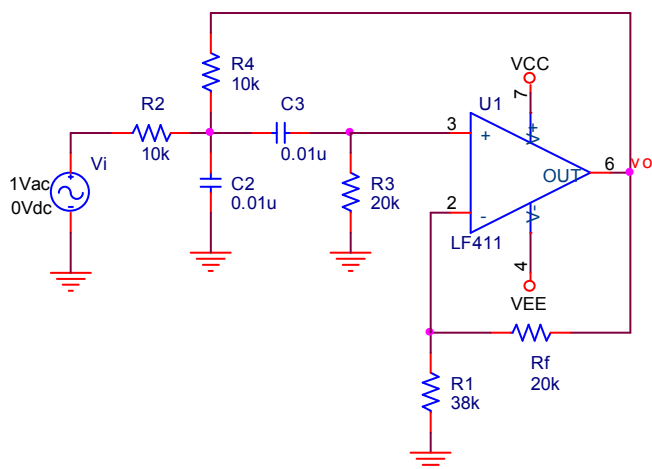


图 8.2.5 二阶有源带通滤波器

***8.2.6 二阶有源带通滤波器如图 8.2.6。求带宽 BW 及电路的幅频特性曲线。(erjieyouyuandaitong2)

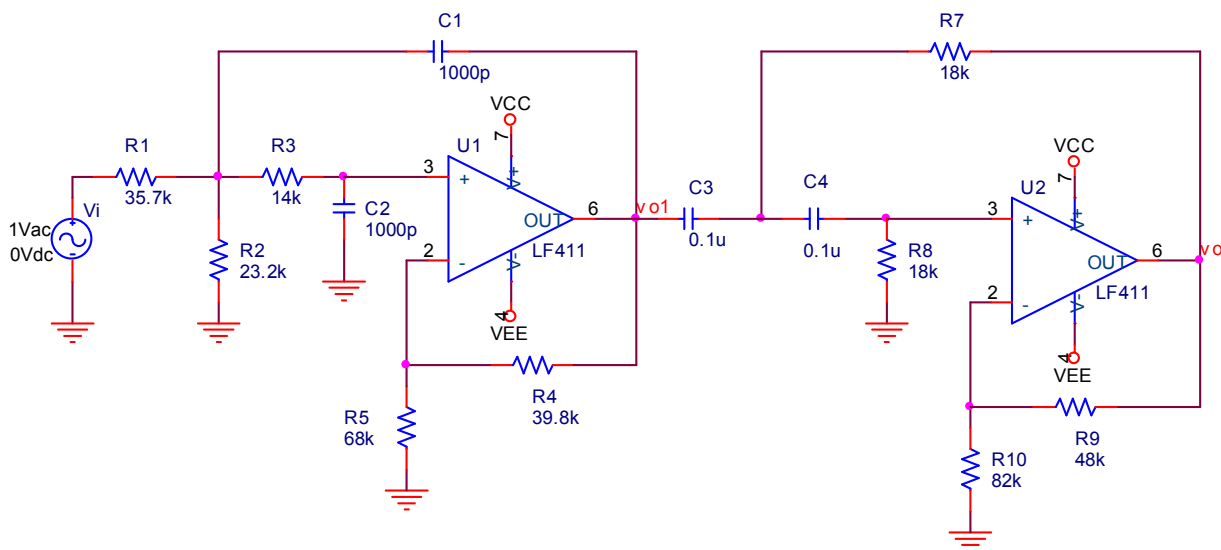


图 8.2.6 二阶有源带通滤波器

8.2.7 二阶压控电压源低通滤波器电路如图 8.2.7 所示，一般取 $R_1=R_2=R$ ， $C_1=C_2=C$ 。运放选用 $\mu A741$ ，工作电压为 $\pm 12V$ 。(1i8_2_3)

- (1) 设 $R=10K\Omega$ ， $C=0.01\mu F$ ， $R_F=7.5 K\Omega$ ， $R_3=10K\Omega$ 。计算电路的频率响应特性，确定通带电压增益，截止频率。
- (2) 设 $R_3=10K\Omega$ ，反馈电阻 R_F 分别为 $0, 10K\Omega, 15K\Omega, 18K\Omega$ ，求电路的频响特性，简单讨论 Q 值的大小对频率响应特性的影响。

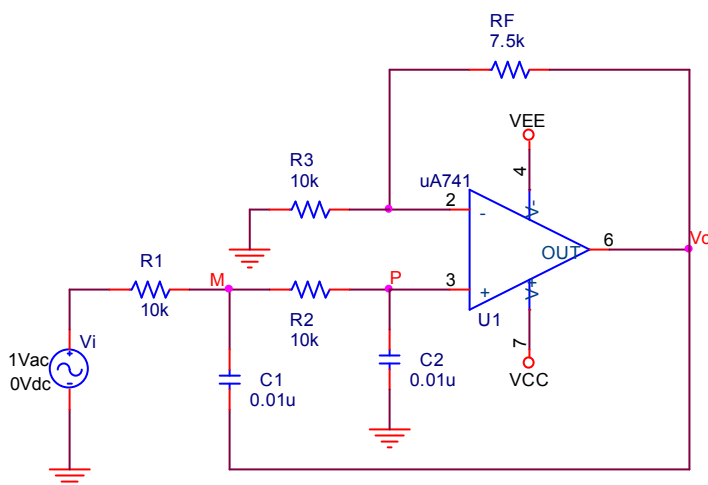


图 8.2.7 二阶压控电压源 LPF

8.2.8 如图 8.2.8 为全通滤波器。设 $R_1=R_F=10k\Omega$ ， $C_1=0.01\mu F$ ， $R_3=16k\Omega$ 。求电路幅频特性与相频特性曲线，说明电路的功能及特点。(ti8_2_11)

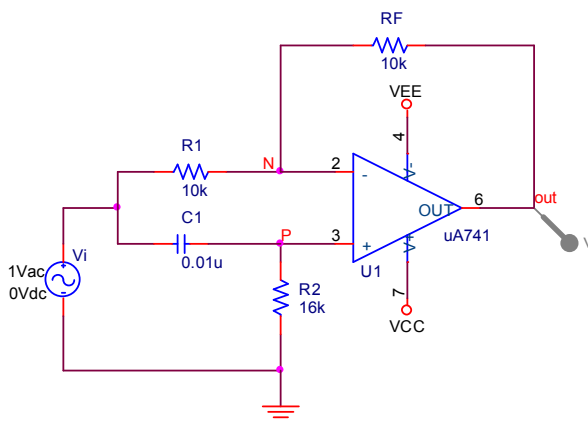


图 8.2.8 全通滤波器

(三) 精密整流电路

8.3.1 图 8.3.1 所示为精密半波整流电路，运放采用 uA741。

(1) 计算电路的直流传输特性 $v_o = f(v_i)$ ；

(2) 设输入信号是幅度为 1V，频率为 1kHz 的正弦信号，求输出电压 v_{o1} , v_{o2} 的波形，确定其幅值。(ti8_2_9)

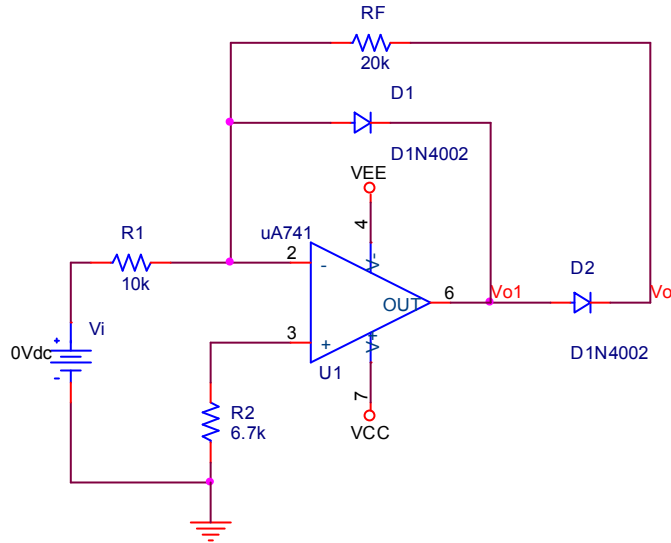


图 8.3.1 精密半波整流电路

8.3.2 精密全波整流电路如图 8.3.2 所示。求输出电压波形。

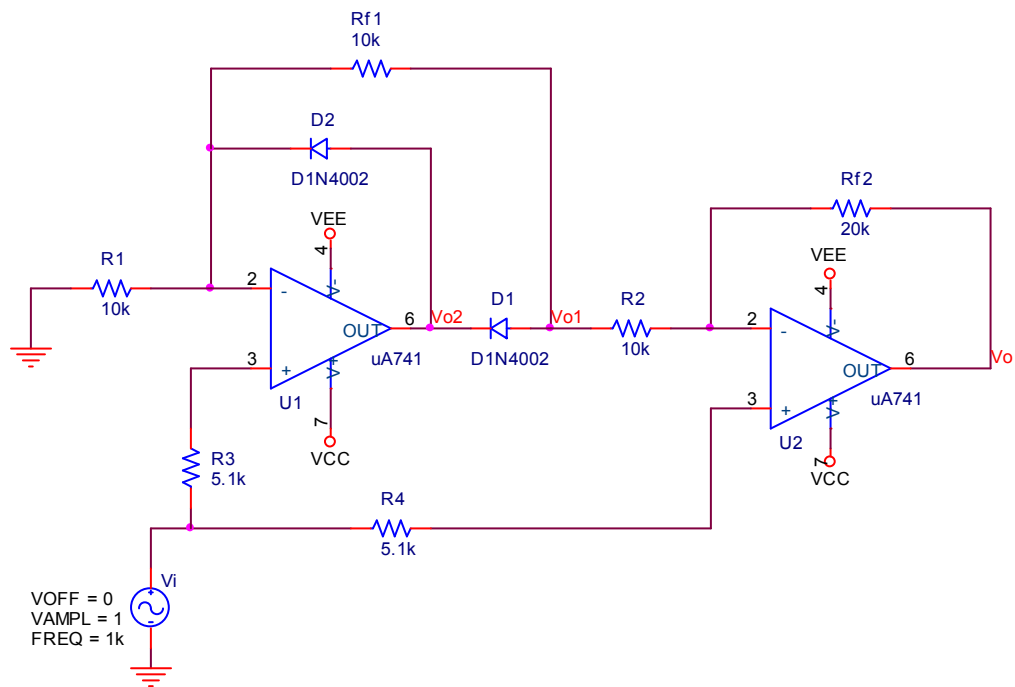


图 8.3.2 精密全波整流电路

(四) 波形产生电路

8.4.1 方波-三角波发生电路如图 8.4.1。求 v_{o1} , v_{o2} 的输出电压波形。

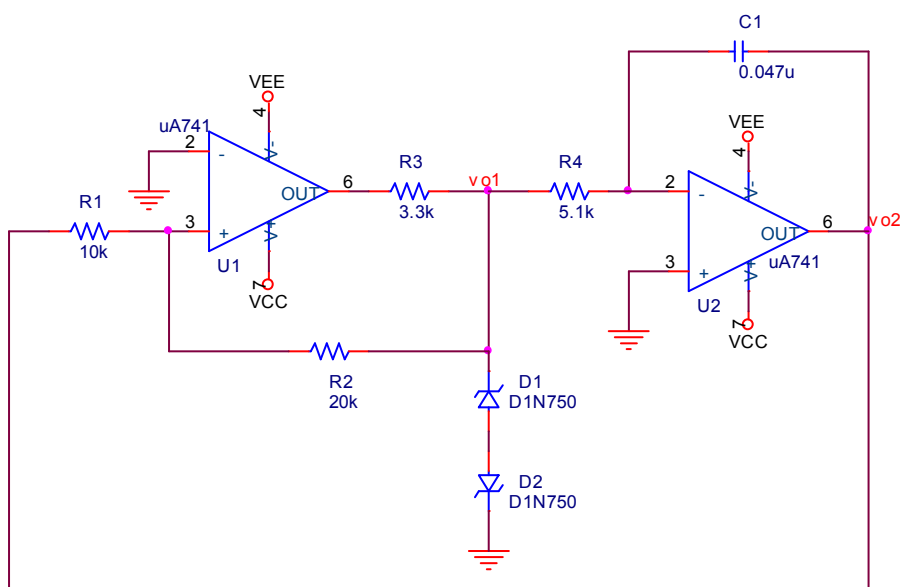


图 8.4.1 方波-三角波发生电路

（五）电压比较器

8.5.1 如图 8.5.1 所示是用通用集成运放和集成电压比较器构成的简单比较器电路。其中，运放型号为 $\mu A741$ ，比较器型号为 LM111。

- (1) 设基准电压 $V_{ref}=2V$ ， v_i 是高电平为 $3V$ ，低电平为 $0V$ ，周期为 $60\mu s$ 的方波脉冲，分别求输出电压 v_{o1} 、 v_{o2} 的波形，观察二者的响应时间有何不同。
- (2) 设基准电压 $V_{ref}=2V$ ，输入电压 v_i 是一直流扫描电压，作直流传输特性，观察二者的灵敏度有何不同。
- (3) 设基准电压 $V_{ref}=0V$ ，输入电压是幅度为 $2V$ ，频率为 $1KHz$ 的正弦波，求输出电压 v_{o1} 、 v_{o2} 的波形，说明电路的功能。(li8_3_1)

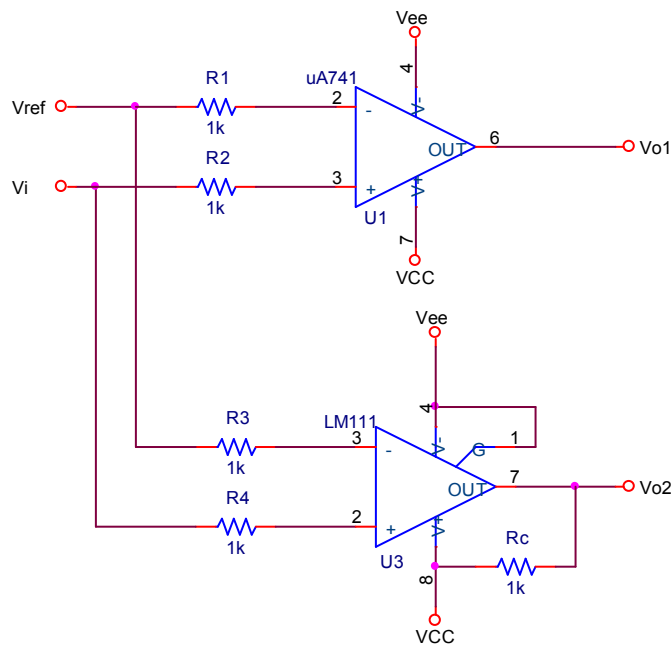


图 8.5.1 简单电压比较器

***8.5.2 图 8.5.2 是由 LM111 组成的滞回比较器的原理图。(li8_3_2)

- (1) 设 $R_1=R_2=10\text{K}\Omega$, 输入电压 V_i 是幅度为 10V , 周期为 $20\mu\text{s}$ 的三角波, 求基准电压 V_{ref} 分别为 2V 、 -2V 时的输出电压波形, 确定其上、下阈值电压 V_{th1} 、 V_{th2} , 讨论 V_{ref} 对传输特性的影响。
- (2) 设 $V_{\text{ref}}=0$, $R_1=10\text{K}\Omega$, V_i 波形同 (1), 求 R_2 分别为 $10\text{K}\Omega$, $5\text{K}\Omega$ 时的输出电压波形, 确定其上、下阈值电压 V_{th1} 、 V_{th2} , 讨论反馈系数 $F_v=R_1/(R_1+R_2)$ 对传输特性的影响。
- (3) 设 $V_{\text{ref}}=2\text{V}$, $R_1=R_2=10\text{K}\Omega$, 输入电压是低电平为 -5V , 高电平是 5V , 上升沿与下降沿均为 $1\mu\text{s}$, 周期为 $10\mu\text{s}$ 的脉冲, 求输出电压 V_o 的波形, 观察电路的波形整形作用。

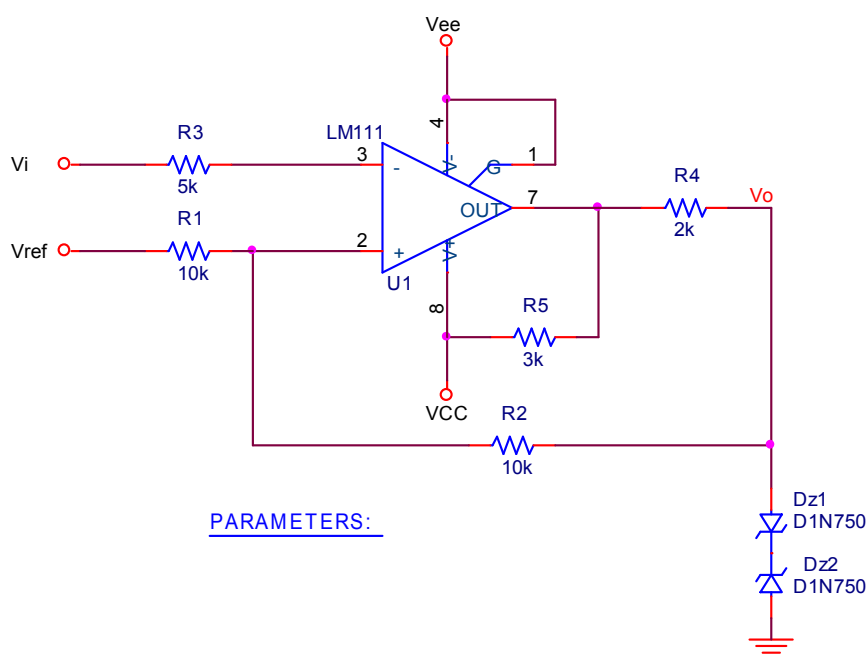


图 8.5.2 滞回比较器

8.5.3 如图 8.5.3 所示为窗口检测电路(窗口比较器)的原理图, 电压比较器选 LM111。

设 $V_{ref1}=4V$, $V_{ref2}=-4V$, 求电路的直流传输特性, 说明电路的功能。(118_3_3)

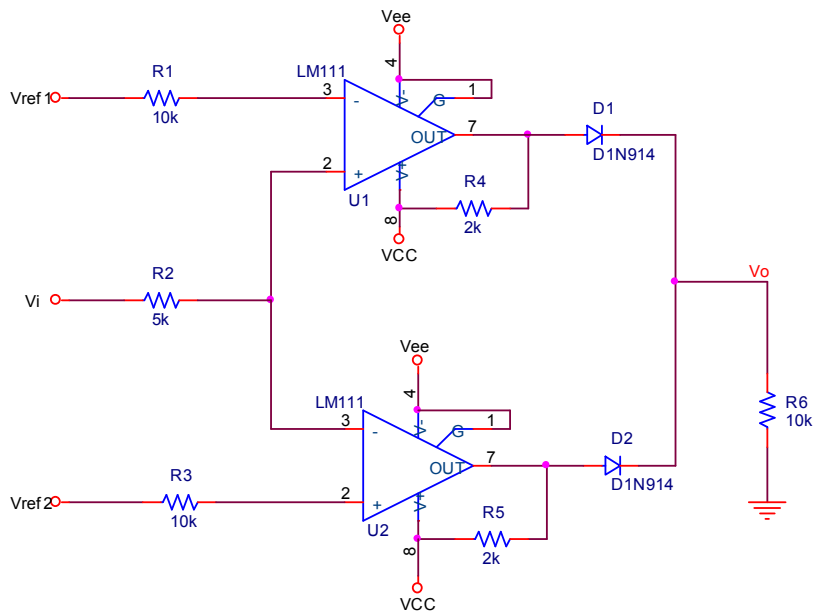


图 8.5.3 窗口检测电路(窗口比较器)

8.5.4 电路如图 8.5.4。它的输出具有高、低及零三种电平，称为三态比较器。

设 $V_{ref1} = 3V$, $V_{ref2} = -2V$ ，求电路的直流传输特性，说明其特点。(ti8_3_12)

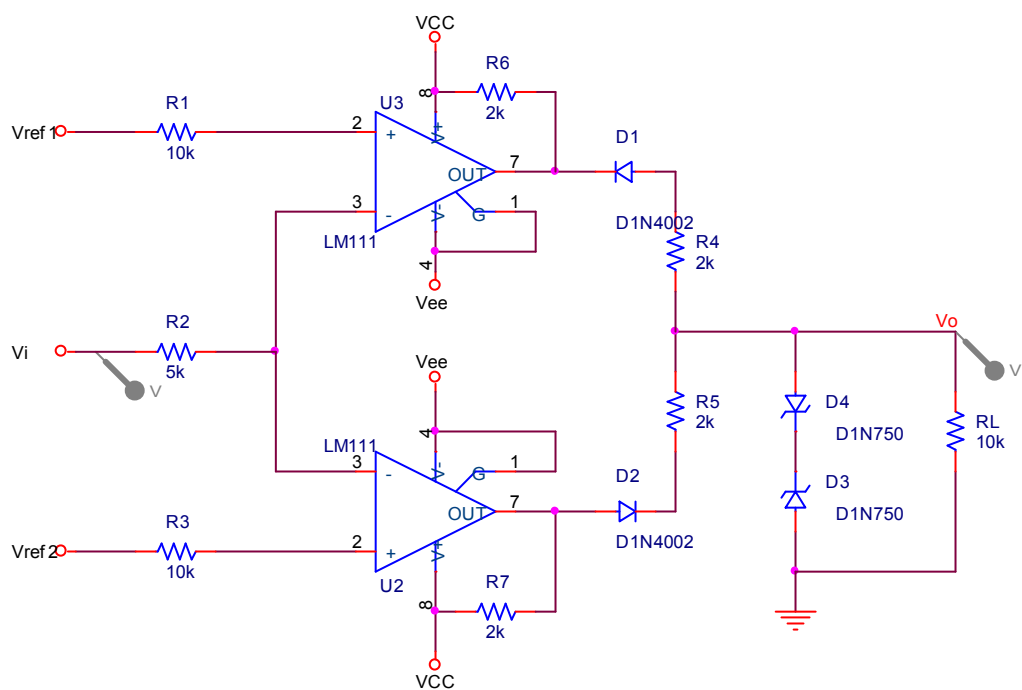


图 8.5.4 三态比较器

***8.5.5 电路如图 8.5.5。运放电源电压为 $\pm 12\text{V}$ 。设输入电压为 $v_i = \sin(2\pi \times 1000t)\text{V}$ ，VM 是幅度为 $16\text{V}(-8\text{V} \rightarrow 8\text{V})$ ，频率为 100Hz 的理想锯齿波，求 v_{o1} ， v_{o2} ， v_o 的波形，分析电路功能。(ti8_3_5)

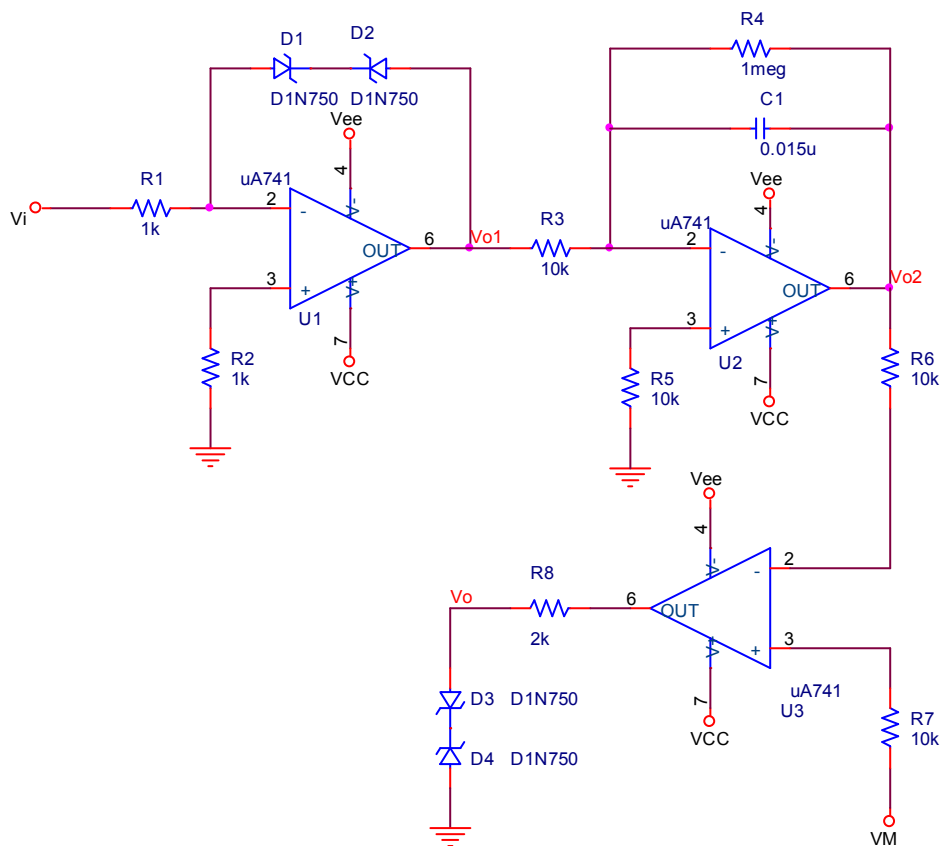


图 8.5.5