

# 模拟电子技术实验实训与仿真

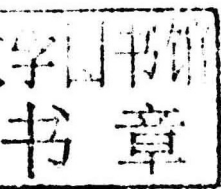
高建党 主编

云南大学出版社

云南省高等职业院校基础课程教学改革项目

# 模拟电子技术实验实训与仿真

主 编 高建党  
副主编 查庆忠 邹 丹  
参 编 宋朝君 寸彦萍



 云南大学出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

模拟电子技术实验实训与仿真/高建党主编. —昆明:  
云南大学出版社, 2011  
ISBN 978 - 7 - 5482 - 0371 - 1

I. ①模… II. ①高… III. ①模拟电路—电子技术  
IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 022271 号

# 模拟电子技术实验实训与仿真

主编 高建党

---

责任编辑: 朱光辉  
封面设计: 夏雪梅  
出版发行: 云南大学出版社  
印 装: 云南国浩印刷有限公司  
开 本: 787mm × 1092mm 1/16  
印 张: 5.25  
字 数: 110 千  
版 次: 2011 年 2 月第 1 版  
印 次: 2011 年 2 月第 1 次印刷  
书 号: ISBN 978 - 7 - 5482 - 0371 - 1  
定 价: 15.00 元

---

社 址: 云南省昆明市翠湖北路 2 号  
云南大学英华园内 (邮编: 650091)  
网 址: <http://www.ynup.com>  
E - mail: [market@ynup.com](mailto:market@ynup.com)

# 前 言

欢迎您阅读和使用这本实验指导书，在您使用我们编撰的这本实验指导书之前，希望您认真地阅读使用导言，真正弄懂我们编撰这本书的初衷，以便正确地理解并做好使用前期的准备工作，使教学有条不紊地实施。

工程理论可以经过理论证明，也可以通过实验证明，我们就是应用实验方法来验证理论，通过感性知识来掌握理性知识，再通过理性知识来指导实践。这套教材包括三个部分：第一部分是实验指导书，第二部分是实验与仿真 PPT，第三部分是实验仿真电路。其中实验与仿真 PPT 可以链接实验仿真电路，以使用实验来验证理论内容，两者相辅相承。这套教学材料既可以在理论讲完以后作实验指导用，也可以在授课过程中引用仿真技术，使同学们首先获得感性知识，使他们体会从实践到理论最后再到实践的认知过程。各位教师都很清楚，讲理论而没有实践往往是很枯燥的，作为电子技术课程没有理论的实践往往又是行不通的，我们就是通过仿真技术手段将理论与实践有机地结合在一起，最终服务于实践。

作为实验可分为两个层面，一是应用最新计算机仿真技术进行实验，二是应用电子元器件、电子仪器进行实验。前者效率高、安全、直观，后者则是最终目的，虽然两者不能完全相互替代，但目前的计算机仿真技术水平的实验结果与电子元器件、电子仪器实验结果已达到相当高度的统一，这在国内外电子产品的开发、设计、生产中已得到广泛的证实，这一点是毋庸置疑的。作为教育工作者，就要不断地关注本行业最新的发展动态，应用现代最先进的技术手段和科研成果为教学服务。

《模拟电子技术》课程是电子类、电器类专业的专业基础课，在电类专业课程中具有举足轻重的作用。本门课程实践环节多，实验项目多，就高职高专实践教学而言，要求应用电子技术专业《模拟电子技术》实践课时占总课时的 50% 以上，由于这需要的电子仪器设备多，需要的电子元器件品种多，很多实验难以开展，特别是对一些实验条件相对欠缺的学校更是难以为继，很多学校是只上理论课不做实验或少做实验。为解决这一问题我们提出采用电子线路仿真技术软件 Multisim 来解决实验问题。

Multisim 仿真技术软件提供了全面集成化的设计环境，完成从原理图设计、电路仿真、结果分析到电路功能测试等工作，当改变电路连接或改变元件参数，可以及时地观察到变化对电路性能的影响。Multisim 仿真技术软件操作界面方便友好，原理图设计输入快捷，元器件品种丰富（有数千个器件模型），虚拟电子设备种类齐全（如同操作真实设备一样），分析工具广泛，帮助设计者全面了解电路的性能。

本书设计了 15 个实验项目，实验仿真电路共 28 个，基本涵盖了《模拟电子技术》所有的实验电路（不含高频部分）的实验内容，在实际使用中可根据教学大纲和教学学时取

舍。当然也可以在理论教学中，引用电子线路仿真电路进行论证，更加方便快捷、直观地讲授所讲内容、使学生易于理解，从而提高授课效率和学习效率。

本书主要特色为：

(1) 可以大幅度地降低实验教学成本。

(2) 在理论教学时只要改变电路中某个元件的参数立刻可以看到这个元件参数对电路的影响情况，可以实验验证理论。

(3) 提高实验效率。

本套教材必须与相应的配套材料结合才能够有效链接仿真电路，即可在多媒体教室演示实验过程。其配套材料有：

(1) Multisim 安装软件。

(2) 实验与仿真 PPT。

(3) 实验仿真电路 28 个。

本书采用了计算机仿真教学法，“计算机仿真教学法”是应用计算机仿真技术来验证电路定理、原理、实时观察电路变化的教学方法，作为开放大学、广播电视大学、函授大学及专业培训等远程教育形式，学生集中开展实验较为困难，但我们可以通过电视、网络通信手段实现电子电路实验远程教学，把模拟实验室、把具有可链接仿真单元的教材送到学生手中。只要有电脑、有网络就可以办学，最终实现无纸化、开放化办学，学生可以通过互联网自己做实验，实现实验教学网上互动。

“计算机辅助教学”由来已久，但以往此教学仅仅停留在多媒体技术、动画技术、显示技术层面，而“计算机仿真教学法”则是更深层面上的“计算机辅助教学”，它把工程设计仿真软件应用于工程学科教学。当然，工程设计仿真软件仅仅是一个操作平台，如同一张白纸、一块黑板，而这张白纸、这块黑板上的内容是要我们来丰富的，相信“计算机仿真教学法”未来会有很大的发展前景。

这本教材在编写过程中得到了云南北方光电仪器有限公司生产部长、高级工程师查庆忠老师的大力协助，他对教学内容和教学方法提出了很多的宝贵意见和建议，在此我们表示衷心感谢！

编者

2010 年 12 月

# 目 录

实验一	基本放大电路	(1)
实验二	分压式电流负反馈放大电路	(5)
实验三	射极跟随器	(10)
实验四	共基极放大电路	(14)
实验五	差分放大器	(18)
实验六	电流源电路	(22)
实验七	多级放大器	(26)
实验八	功率放大器	(32)
实验九	集成运算放大器的基本应用	(37)
实验十	加法电路与减法电路	(41)
实验十一	积分电路与微分电路	(44)
实验十二	电压比较器	(47)
实验十三	信号产生电路	(50)
实验十四	整流与滤波	(55)
实验十五	二极管的应用	(59)
	模拟电子技术课程设计	(62)
	声光控自熄开关装调指导	(67)
	超外差式收音机装调指导	(69)

# 实验一 基本放大电路

基本放大电路是同学们在学习完三极管的工作原理之后的首个应用三极管实验电路。所谓基本放大电路就是仅仅满足于三极管进行电流放大的基本条件，即发射结正偏置、集电结反偏置，同时具有合适的静态工作点对信号进行放大的电路。由于基本放大电路中不含反馈元件，电路的静态工作点不稳定，故在实际应用中已很少使用，但其作为对放大电路的引入，可以进一步讨论电路中存在的主要问题，以及提出电路如何改善等方面的新的课题，以这种循序渐进的教学方法，使学生便于理解，为后续实验电路的实验教学打下良好的基础。

## 一、电路原理图

电路原理图如图 1-1 所示。

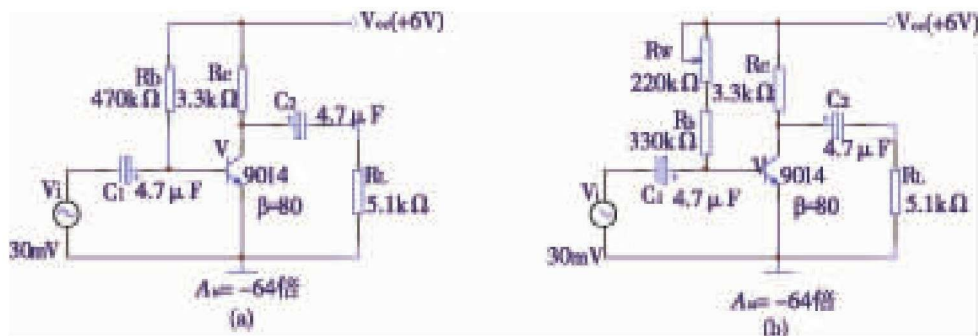


图 1-1

## 二、理论计算

图 1-1 (a) 是基本放大电路原理图，根据图中的参数我们可进行如下计算：

### 1. 静态参数计算（估算法）

$$I_B = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_b} = \frac{6 - 0.7}{470} = 11.3 \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B = 80 \times 11.3 = 0.9 \text{ mA}$$

$$I_E \approx I_C$$

$$U_{CE} = V_{CC} - I_C R_c = 6 - 0.9 \times 3.3 = 3 \text{ V}$$

## 2. 动态参数计算

图 1-2 所示为基本放大电路的交流微变等效电路。

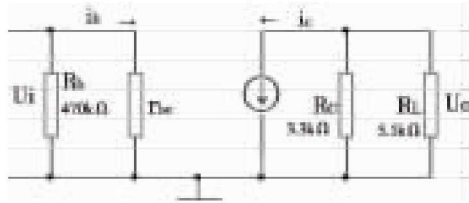


图 1-2

根据交流等效电路的分析方法，得：

$$r_{be} = 200 + (1 + \beta) \frac{26}{I_E} = 200 + (1 + 80) \frac{26}{0.9} = 2.54 \text{ k}\Omega$$

输入电阻  $R_i = R_b // r_{be} = 470 // 2.54 = 2.53 \text{ k}\Omega$

输出电阻  $R_o = R_c = 3.3 \text{ k}\Omega$

放大倍数  $A_u = -\beta \frac{R_c // R_L}{r_{be}} = -80 \times \frac{3.3 // 5.1}{2.54} = -63 \text{ 倍}$

## 三、电路安装调试

首先按照电路原理图选择元器件，但在实际应用中不可能所选用的三极管的电流放大倍数正好是 80 倍，因此我们通过一个 220kΩ 的电位器来调试，按图 1-1 (b) 准备元件安装调试。

### 1. 静态调试

通过调整  $R_w$  同时用万用表测量  $U_{CE}$  的电压值，当  $U_{CE}$  的电压值大约等于 3V 时可以认为静态工作点基本调整好，该电路已具有电压放大功能。由于三极管的  $\beta$  值可能不等于 80，这时其  $I_c$  的静态电流就不再是 0.9mA，但只要保证  $U_{CE}$  等于 3V 左右电路的静态工作点也基本正确。

### 2. 动态调试

前述所提到的静态工作点基本正确，但不一定是最佳状态，要使该放大电路工作在最佳状态必须通过信号发生器、稳压电源、示波器进行动态调试，图 1-3 是各电子设备连接图。



图 1-3



(1) 将信号发生器调至输出信号频率为 1kHz、峰值电压为 20mV 的正弦交流电，调整示波器就可观察到放大之后的输出波形。

(2) 逐步缓慢增加信号发生器的输出幅度，在示波器观察到的波形幅度也成比例地增加，当信号发生器的输出幅度增加到一定的程度时示波器上观察到的波形出现上半部分削平，称为截止失真，如图 1-4 (a)，或者下半部分削平，称为饱和失真，如图 1-4 (b)，这是由于工作点不在交流负载线的中点所致。

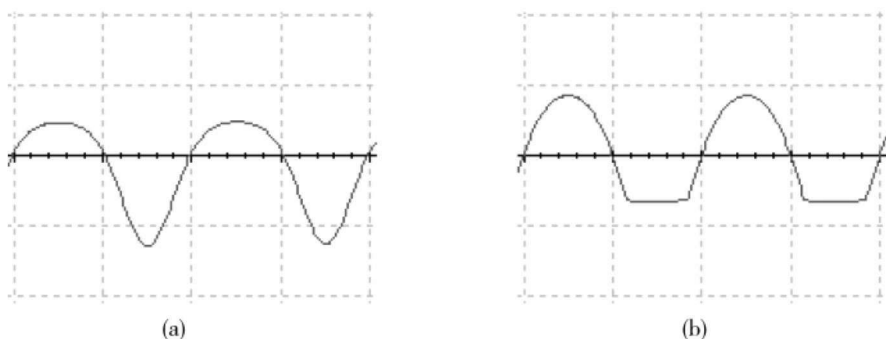


图 1-4

(3) 适当缓慢地左右调整电位器  $R_w$  以消除失真，之后再重复上述 (2) 条，直至当信号发生器的输出幅度增加到使示波器观察到的输出波形同时出现上下削顶失真，这时电路调整到最佳状态。此时信号发生器输出的幅度已达到该放大器所能接收的最大输入幅度。

采用万用表可以调整放大器的静态工作点，虽可使电路具有放大作用但未必最佳，采用电子仪器进行正确的调试可使放大电路工作于最佳状态，使电路的动态范围最大。

图 1-5 为实验一基本放大电路仿真(链接)。

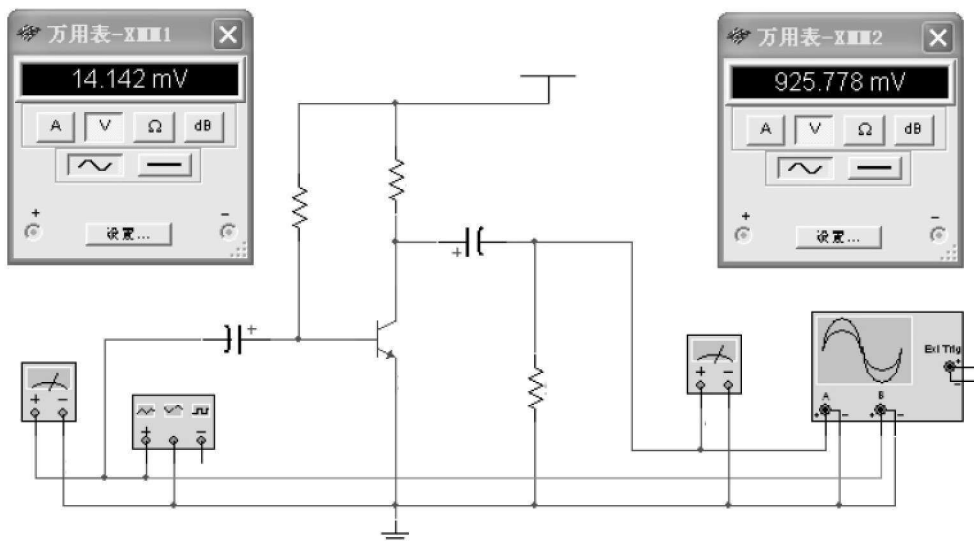


图 1-5

图 1-6 为电路仿真输入输出波形。

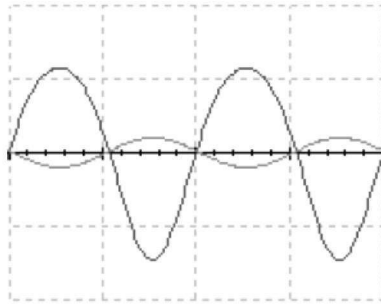


图 1-6

#### 四、基本参数测量

基本参数测量主要是对放大电路的电压放大倍数进行测量，应用示波器对输出、输入的峰-峰值测量并用下式计算可得到实际的电压放大倍数。

$$A_u = \frac{U_{OP-P}}{U_{IP-P}}$$

通过结果分析我们会发现  $A_u$  并不等于 63 倍，甚至是相距甚远，这是不是说理论和实际不相符呢？其实不然，其原因还是  $\beta$  值不是 80 倍所致，相同型号的晶体管具有不同的  $\beta$  值，甚至同一只三极管工作在不同的工作点  $\beta$  也还有差异。为了寻找这些差异我们让同学将各自的测量结果填入下表进行观察，看能否找出一些规律。

	静 态			动 态
	$I_B$	$I_C$	$U_{CE}$	$A_u$
理论计算				
实际测量				

#### 五、基本放大电路的讨论

基本放大电路就是仅仅满足于三极管进行电流放大的基本条件，即发射结正偏置、集电结反偏置，同时具有合适的静态工作点对信号进行放大的电路，但从电路的静态参数计算中就可以看出集电极电流  $I_C$  与  $\beta$  值有关，也就是说当更换三极管或者环境温度的变化使三极管的  $\beta$  值发生变化（温度漂移）时工作点会偏移，使工作点偏离最佳状态造成输出信号的动态范围变窄，严重时还会造成工作点进入到截止区或饱和区，电路失去放大作用，可以说基本放大电路是一个不成熟的电路，需要对其加以改进。

## 实验二 分压式电流负反馈放大电路

基本放大电路存在着静态工作点不稳定的问题，试想能否在三极管  $\beta$  值变化时静态工作点基本不变呢？这里所提出的静态工作点稳定放大电路（也称为分压式电流负反馈放大电路）就可以解决该问题，这种电路的静态工作点可以不受更换三极管、环境温度变化或其他因素的影响，因此在实际应用中被广泛采用。

### 一、电路原理图

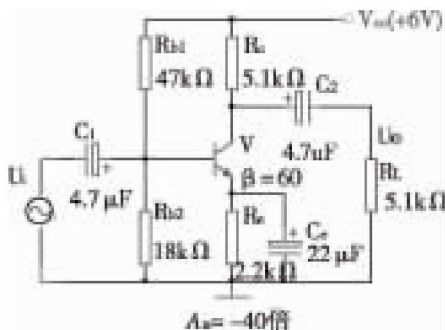


图 2-1

### 二、理论计算

#### 1. 静态参数计算（估算法）

$$V_B = \frac{V_{CC}}{R_{b1} + R_{b2}} R_{b2} = \frac{6}{47 + 18} \times 18 = 1.66\text{V}$$

$$I_E = \frac{V_B - U_{BE}}{R_e} = \frac{1.66 - 0.7}{2.2} = 0.44\text{mA}$$

$$I_C \approx I_E$$

$$U_{CE} = V_{cc} - I_C (R_c + R_e) = 6 - 0.44 \times (5.1 + 2.2) = 2.79\text{V}$$

从上式中可以看到表达式中不含有  $\beta$  值，由此也可断定静态工作点与三极管的  $\beta$  值无关。

#### 2. 动态参数计算

图 2-2 所示为分压式电流负反馈放大电路的交流微变等效电路，其中：

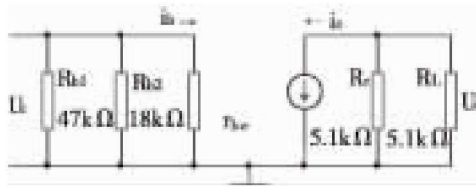


图 2-2

$$r_{be} = 200 + (1 + \beta) \frac{26}{I_E} = 200 + (1 + 60) \frac{26}{0.44} = 3.80 \text{ k}\Omega$$

输入电阻  $R_i = R_{b1} // R_{b2} // r_{be} = 47 // 18 // 3.80 = 2.94 \text{ k}\Omega$

输出电阻  $R_o = R_c = 5.1 \text{ k}\Omega$

放大倍数  $A_u = -\beta \frac{R_c // R_L}{r_{be}} = -60 \times \frac{5.1 // 5.1}{3.80} = -40 \text{ 倍}$

### 三、电路安装调试

按照电路原理图选择元器件，为了调试方便可以用一个 220kΩ 的电位器  $R_w$  来代替 47kΩ 的电阻。

#### 1. 静态调试

通过调整  $R_w$ ，同时用万用表测量  $U_{CE}$  的电压值，当  $U_{CE}$  的电压值大约等于 2.8V 时可以认为静态工作点基本调整好，该电路已具有电压放大作用。由于种种原因放大电路的静态工作点未必是最佳状态，因此要进行下一步动态调试。

#### 2. 动态调试

图 2-3 是用信号发生器、稳压电源、示波器进行动态调试的设备连接图。



图 2-3

(1) 将直流稳压电源调到 6V，信号发生器调至输出信号频率为 1kHz、峰值电压为 20mV 的正弦电压，调整示波器就可观察到放大之后的输出波形。

图 2-4 为实验二分压式电流负反馈放大电路仿真 (1) ([链接](#))。

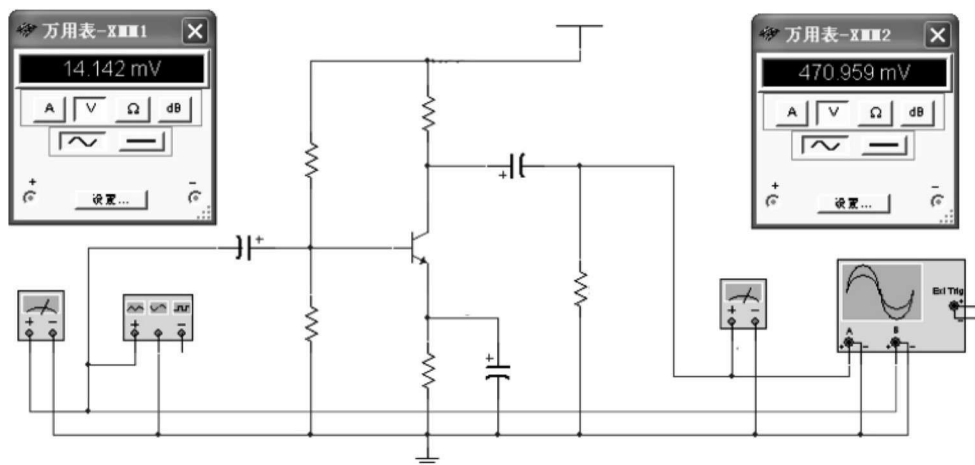


图 2-4

(2) 逐步缓慢增加信号发生器的输出幅度，在示波器观察到的波形幅度也成比例地增加，当信号发生器的输出幅度增加到一定的程度时示波器上观察到的波形出现上半部分削平，称为截止失真，如图 2-5 (a)，或者下半部分削平，称为饱和失真，如图 2-5 (b)，这是由于工作点不在交流负载线的中点所致。

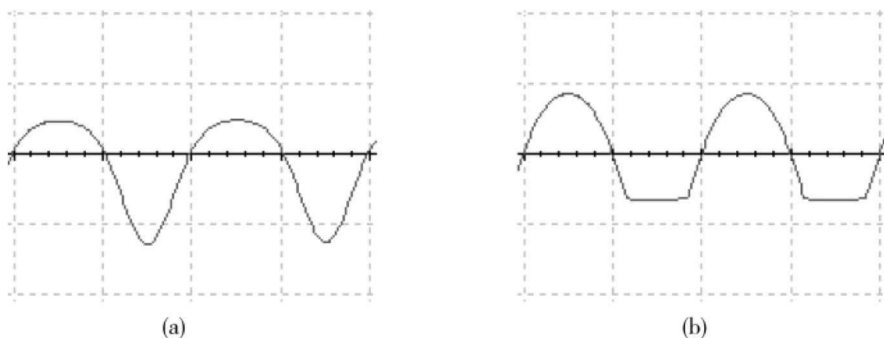


图 2-5

(3) 适当缓慢地左右调整电位器  $R_w$  以消除失真，之后再重复上述第 (2) 调试步骤，直至当信号发生器的输出幅度增加到使示波器观察到的输出波形同时出现上下削顶失真，这时电路调整到最佳状态，此时信号发生器输出的幅度已达到该放大器所能接收的最大输入幅度。

采用万用表可以调整放大器的静态工作点，虽可使电路具有放大作用但未必最佳，采用电子仪器进行正确的调试可使放大电路工作于最佳状态，使电路的动态范围最大。

图 2-6 为实验二分压式电流负反馈放大电路仿真 (2) ([链接](#))。

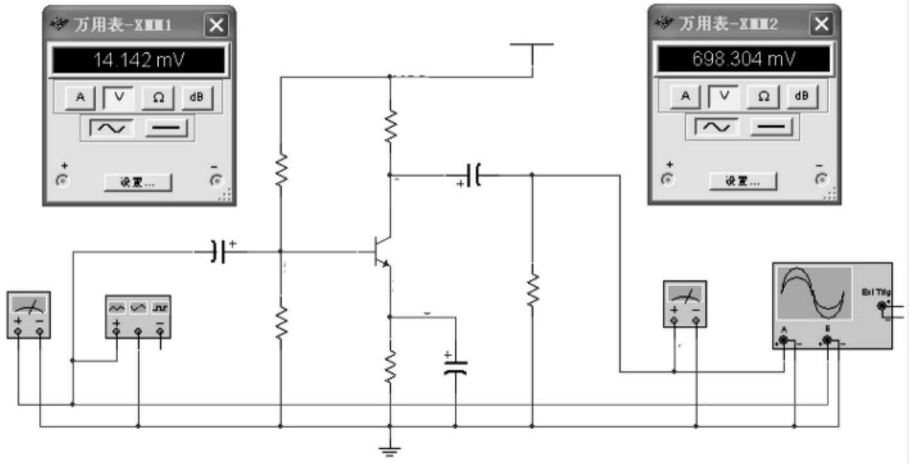


图 2-6

图 2-7 所示为仿真电路输入输出波形。

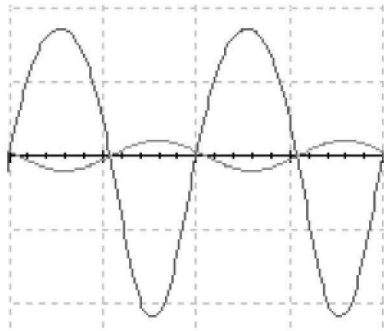


图 2-7

观察仿真电路图 2-4 中万用表有效值可知，在  $R_{b1} = 47\text{k}\Omega$  时，输入信号电压有效值为 14.14mV，输出信号电压有效值为 471mV，电压放大倍数为 33 倍，通过调试，如果  $R_{b1} = 30\text{k}\Omega$  时（仿真电路图 2-6），在相同输入信号幅度的情况下输出信号电压有效值达到 698mV，其电压放大倍数达到 50 倍。从这个例子可以看出调试对放大电路的影响举足轻重。

#### 四、基本参数测量

基本参数测量主要是对放大电路的电压放大倍数进行测量，应用示波器对输出、输入的峰-峰值测量并用下式计算可得到实际的电压放大倍数。

$$A_u = \frac{U_{OP-P}}{U_{IP-P}}$$

通过结果分析我们会发现  $A_u$  不一定等于 40 倍，最终依实际调试而定，如图 2-6 所

示达到了 50 倍。这是因为偏置电阻已发生改变所致，但就这样一个电路即使更换了一只原来  $\beta$  值不同的三极管，其电压放大倍数  $A_u$  也基本不变，这就是本电路的优势所在，请同学们将各自的测量结果填入下表进行观察，看能否找出一些规律。

	静 态			动 态
	$V_B$	$I_C$	$U_{CE}$	$A_U$
理论计算				
实际测量				

### 五、静态工作点稳定放大电路的讨论

静态工作点稳定放大电路不仅满足于三极管进行电流放大的基本条件，即发射结正偏置、集电结反偏置，而且在调试好静态工作点后，一方面我们在计算式中没有看到参数  $\beta$ ，说明集电极电流  $I_c$  与  $\beta$  值无关，即使更换一只不同  $\beta$  值的三极管或者环境温度的变化使三极管的  $\beta$  值发生变化（温度漂移）时，静态工作点都基本不会偏移，电路仍能正常放大（同学们感兴趣的话可以试一下）；另一方面弄清电路为什么能够使  $I_c$  基本稳定。当温度升高时我们通过下面的流程图来说明：

$$T(\text{温度}) \uparrow \rightarrow \beta \uparrow \rightarrow I_c \uparrow \rightarrow V_c \uparrow \xrightarrow{V_b \text{ 基本不变}} U_{bc} \downarrow \rightarrow I_b \downarrow \rightarrow I_c \downarrow$$

由此我们可知这是一相对比较成熟的电路，实际应用比较广，有些放大电路也是在此基础上的变形。

## 实验三 射极跟随器

射极跟随器又称为共集电极放大电路，只有在共集电极放大电路的交流通路上才可以清楚地看到集电极是输入回路和输出回路的公共端，理论分析可知共集电极放大电路的电压放大倍数为 1，没有电压放大能力，但它以损失电压放大倍数为代价提高了电路的综合性能指标，它具有如下特点：输出幅度的稳定性提高、输入电阻高、输出电阻低、输入输出同相位，利用这些特性在多级放大电路中常将其作为输入级、输出级、隔离级。

### 一、电路原理图

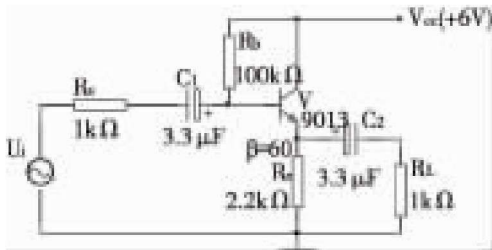


图 3-1

### 二、理论计算

#### 1. 静态参数计算

$$I_B = \frac{V_{CC} - U_{BE}}{R_b + (1 + \beta) R_e} = \frac{6 - 0.7}{100 + (1 + 60) \times 2.2} = 22.63 \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 60 \times 22.63 = 1.36 \text{mA}$$

$$I_C \approx I_E$$

$$U_{CE} = V_{CC} - I_E R_e = 6 - 2.2 \times 1.36 = 3 \text{V}$$

#### 2. 动态参数计算

图 3-2 所示为共集电极放大电路的交流微变等效电路，其中：

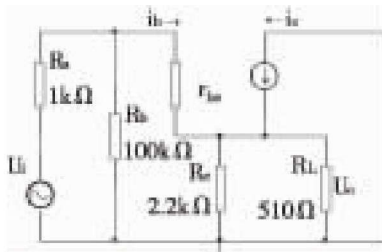


图 3-2



$$r_{be} = 200 + (1 + \beta) \frac{26}{I_E} = 200 + (1 + 60) \frac{26}{1.36} = 1.37 \text{ k}\Omega$$

$$\begin{aligned} \text{输入电阻} \quad R_i &= R_b // [r_{be} + (1 + \beta) (R_e // R_L)] \\ &= 100 // [1.37 + (1 + 60) (2.2 // 0.51)] \\ &= 21 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{输出电阻} \quad R_o &= R_e // \frac{r_{be} + (R_s // R_b)}{1 + \beta} \\ &= 2.2 // \frac{1.37 + (1 // 100)}{1 + 60} \\ &= 38 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{电压放大倍数} \quad A_u &= \frac{(1 + \beta) (R_e // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta) (R_e // R_L)} \\ &= \frac{(1 + 60) (2.2 // 0.51)}{1.37 + (1 + 60) (2.2 // 0.51)} \\ &= 0.95 \text{ 倍} \end{aligned}$$

分析计算可知，共集电极放大电路相对于共发射极放大电路而言，其输入电阻高、输出电阻低，电压放大倍数约为 1。

### 三、电路安装调试

按照电路原理图（如图 3-1）选择元器件，为了调试方便可以用一个 220kΩ 的电位器  $R_w$  来代替 100kΩ 的电阻。

#### 1. 静态调试

通过调整  $R_w$  同时用万用表测量  $U_{CE}$  的电压值，当  $U_{CE}$  的电压值大约等于 3V 时可以认为静态工作点基本调整好，该电路已能够正常工作。由于种种原因放大电路的静态工作点未必是最佳状态，因此要进行下一步动态调试。

#### 2. 动态调试

图 3-3 是信号发生器、稳压电源、示波器进行动态调试的设备连接图。



图 3-3

(1) 将直流稳压电源调到 6V，信号发生器的输出信号调至频率 1kHz、峰值电压 1V 的正弦交流电，调整示波器就可观察到输出波形。

(2) 逐步缓慢增加信号发生器的输出幅度，在示波器观察到的波形幅度也成比例地增加，当信号发生器的输出幅度增加到一定程度时示波器上观察到的波形出现上部削平（截止失真）或下部削平（饱和失真），这是由于工作点不在交流负载线的中点所致。