



普通高等院校“十三五”规划实验教材

基础电子技术实验教程



普通高等院校“十三五”规划实验教材

基础电子技术实验教程

中国·武汉

普通高等院校“十三五”规划实验教材

编审委员会
(排名不分先后)

主任	肖明				
副主任	戴伟	罗毅	干筠	吴建丘	
	肖飞	姚桂玲			
委员	谭华	罗海峰	王怀兴	李莎	
	肖昞	伍家梅	李杰	肖龙胜	
	胡森	胡凡建	陶表达		

编写委员会
(排名不分先后)

范锡龙	刘明	邓永菊	皮春梅	王世芳	操小凤
来小禹	陈国英	谈伟伟	李志浩	冯国强	郑秋莎
刘勇	刘丹	童爱红	吉紫娟	艾敏	王茁
刘姜涛	徐辉	李丹	肖正安	王北	龙芸
王骐	王青萍	肖鹏程	罗春娅	刘金波	黄靓
陈木青	汪川惠	靳海芹	祁红艳	李睿	陈欣琦
陶军辉	王志民	王秋珍	孙筠	张庆	谭永丽
熊伟	徐小俊	林柏林	彭玉成	曹秀英	李建明

前 言

通过实验过程培养学生实验技能，提高学生分析问题和解决问题的能力、科学实验和研究能力，是高等院校进行实践教学的主要内容和重要目的。

本书是针对并配合电子信息科学与技术、光电信息科学与工程、机械电子工程、电子信息工程技术等相关专业的专业基础课程的理论教学过程，以课程理论知识为基础，以服务课程教学、加深对理论知识的理解与掌握为原则，以培养与提高学生动手实践能力、实验研究能力为目的而编写的。根据相关专业的发展趋势、依据教学大纲、紧跟相关专业的发展动向编写本书内容，尽量体现最新的实践教学方法与理念，在章节安排上将验证性和综合设计性实验结合起来，具有较强的通用性与可延用性。

全书共有四个部分，包括电工电路技术实验、模拟电子技术实验、数字电子技术实验、信号与系统实验。其中龙芸、王娅老师主要负责电工电路技术实验部分的编写；黄靓老师负责模拟电子技术实验部分的编写；蒋谦老师负责数字电子技术实验部分的编写；王怀兴老师负责信号与系统实验部分的编写。黄靓老师负责全书的统稿及协调工作，罗海峰老师负责全书各实验原理、框图、实验记录表格的编辑审校。

在本书的编写过程中，我们参考了许多其他相关教材与文献资料，在此向相关编写人员表示感谢。由于时间仓促、水平有限，书中难免会有不足之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2018年7月于湖北第二师范学院

目 录

第一部分 电工电路技术实验	(1)
实验一 电子元器件伏安特性的测试	(3)
实验二 基尔霍夫定律	(7)
实验三 叠加原理	(9)
实验四 戴维南定理	(12)
第二部分 模拟电子技术实验	(15)
实验一 分压式单管共射极放大器	(17)
实验二 射极跟随器	(25)
实验三 差分放大器	(29)
实验四 负反馈放大器	(33)
第三部分 数字电子技术实验	(37)
实验一 TTL 集成门电路测试	(39)
实验二 组合逻辑电路的设计与测试	(44)
实验三 加法器设计与测试	(48)
实验四 触发器逻辑功能测试	(52)
实验五 译码器及数据选择器的应用	(57)
实验六 移位寄存器及其应用	(62)
第四部分 信号与系统实验	(67)
实验一 函数信号发生器	(69)
实验二 零输入响应与零状态响应	(77)
实验三 方波信号的分解与合成	(80)
实验四 采样定理实验	(85)
参考文献	(90)

第一部分

电工电路技术实验

“电工电路技术实验”是一门与《电工技术与电路分析》教材配套的实验课程，其目的是巩固和加深学生对电路理论基本概念和基本规律的理解，掌握电路的基本分析方法和实验技术，培养学生实验动手能力，为后续实践课程学习和就业打下良好的基础。通过本实验课程，要求学生达到以下目标：

- (1) 熟练掌握常规电子仪器与电子设备的使用方法；
- (2) 学会按电路原理图进行元器件的连接；
- (3) 了解各种电子元器件的特征和性质；
- (4) 培养学生的基本实验技能，比如正确使用常用的电工仪器、仪表和电子仪器，掌握一些基本的电路测试技术、实验方法以及数据分析处理知识；
- (5) 培养实事求是的精神，养成严谨、认真的科学实验态度，形成克服困难、坚韧不拔的工作作风以及培养科学、良好的实验素质和习惯。

实验一 电子元器件伏安特性的测试

一、实验目的

- (1) 学会识别常用电子元器件。
- (2) 掌握线性、非线性电子元器件的伏安特性。
- (3) 掌握绘制线性、非线性电子元器件伏安特性曲线的方法。
- (4) 熟悉实验装置上仪表和设备的使用方法。

二、实验原理

1. 伏安特性曲线

在电路中,电子元器件的特性一般用该元器件上的电压 U 与通过该元器件的电流 I 之间的函数关系 $U=f(I)$ 来表示,这种函数关系称为该元器件的伏安特性,有时也称为外部特性。通常以电压 U 作为横坐标,电流 I 作为纵坐标绘成元器件的电流-电压关系曲线,这种曲线就称为伏安特性曲线或外特性曲线。

如果元器件的伏安特性曲线是一条通过原点的直线,说明元器件两端的电压与通过元器件的电流成正比,电压、电流的关系为线性关系,则称该元器件为线性元器件(如碳膜电阻);如果元器件的伏安特性曲线不是通过原点的直线,则称该元器件为非线性元器件(如晶体二极管、三极管等)。

本实验通过实验测量绘制线性电阻、一般半导体二极管及稳压二极管的伏安特性曲线,了解线性、非线性电子元器件的伏安特性。

2. 线性电阻的伏安特性曲线

线性电阻的伏安特性曲线是一条通过原点的直线,该直线斜率的倒数等于该电阻的数值,如图1-1-1所示。

3. 非线性元器件的伏安特性曲线

一般的半导体二极管是非线性元器件,其伏安特性曲线如图1-1-2(a)所示。该元器件正向压降很小(一般的锗管压降为 $0.2\sim 0.3\text{V}$,硅管为 $0.5\sim 0.7\text{V}$),正向电流随正向压降的升高而急剧上升,而反向电压从零一直增加到十几伏至几十伏时,其反向电流增加很小,可粗略地视为零。可见,半导体二极管具有单向导电性,如果反向电压过高,超过半导体二极管的极限值,则会导致半导体二极管击穿损坏。

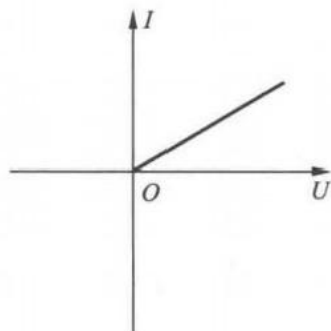


图1-1-1 线性电阻的伏安特性曲线

稳压二极管是非线性元器件，其正向伏安特性类似普通二极管的，但其反向伏安特性则较特别。在反向电压开始增加时，其反向电流几乎为零，但当电压增加到某一数值（一般称为稳定电压）时反向电流突然增加，以后它的端电压维持恒定，不再随外电压升高而增加，如图1-1-2(b)所示。稳压二极管由于这种特性在电子设备中有着广泛的应用。

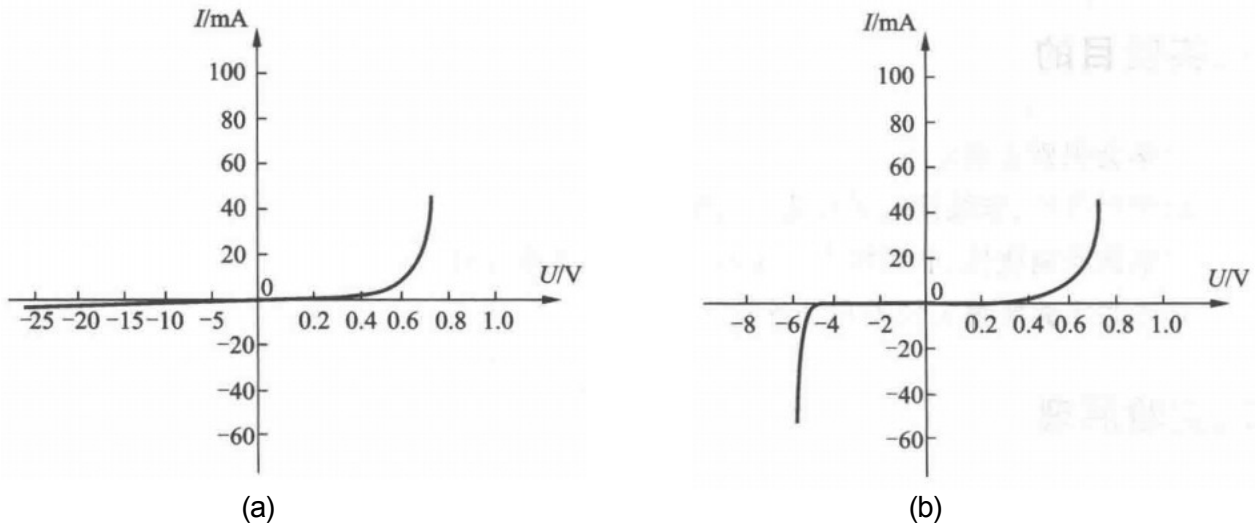


图1-1-2 非线性元器件的伏安特性曲线

(a) 半导体二极管的伏安特性曲线；(b) 稳压二极管的伏安特性曲线

三、实验设备与器件

- (1) 电路原理实验箱或面包板1套；
- (2) 数字万用表1块；
- (3) 线性元器件、非线性元器件若干；
- (4) 可调直流稳压电源1台。

四、实验内容

1. 测定线性电阻的伏安特性

按图1-1-3接线，调节直流稳压电源的输出电压 U ，使其从 0 V 开始缓慢地增加，一直增加到 10 V ，在表1-1-1中记下相应的电压表和电流表的读数。

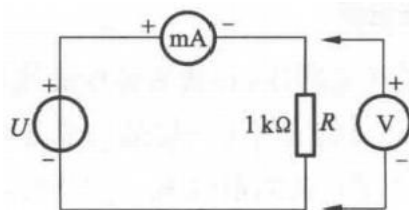


图1-1-3 测定线性电阻的伏安特性实验图

表1-1-1 线性电阻特性实验数据

参数	测量值									
U/V										
I/mA										

2. 测定半导体二极管IN4007 的伏安特性

按图1-1-4接线，R 为限流电阻，测半导体二极管的正向特性时，其正向电流不得超过35mA，正向压降可在0~0.75 V 取值，且0.5~0.75 V 应多取几个测量点。测定反向特性时，只需将图1-1-4中的半导体二极管IN4007 反接，且其反向电压可加至24 V。分别在表1-1-2和表1-1-3中记录相应测量数据。

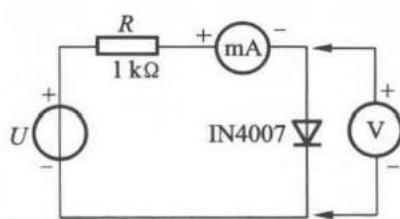


图1-1-4 测定半导体二极管IN4007 的伏安特性实验图

表1-1-2 半导体二极管正向特性实验数据

参数	测量值									
U/V										
I/mA										

表1-1-3 半导体二极管反向特性实验数据

参数	测量值									
U/V										
I/mA										

3. 测定稳压二极管的伏安特性

将图1-1-4中的半导体二极管 IN4007 换成稳压二极管2CW55，重复实验内容2的测量，并在表1-1-4和表1-1-5中记录数据。

表1-1-4 稳压二极管正向特性实验数据

参数	测量值									
U/V										
I/mA										

4. 绘制伏安特性曲线

根据各实验数据，分别在方格纸上绘制出光滑的伏安特性曲线(其中半导体二极管和稳

压二极管的正、反向特性均要求画在同一张图中,正、反向电压可取为不同的比例尺),根据实验结果,总结归纳被测各元件的特性,进行误差分析。

表1-1-5 稳压二极管反向特性实验数据

参数	测 量 值									
U/V										
I/mA										

五、实验注意事项

进行不同实验时,应先估算电压和电流值,合理选择仪表的量程,勿使仪表超量程使用,仪表的正、负极不能接错。

六、思考题

用电压表和电流表测量元器件的伏安特性时,电压表可接在电流表之前或之后,两者对测量误差有何影响?实际测量时应根据什么原则选择?

实验二 基尔霍夫定律

一、实验目的

- (1) 加深对电流、电压参考方向的理解。
- (2) 验证基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。
- (3) 进一步熟悉实验装置上直流电工仪表和设备的使用方法。

二、实验原理

基尔霍夫定律有两条：一条是基尔霍夫电流定律，另一条是基尔霍夫电压定律。

基尔霍夫电流定律(简称 KCL): 在任一时刻, 流入电路中任一节点的电流总和等于从该节点流出的电流总和, 换句话说就是在任一时刻, 电路中任一节点电流的代数和为零。

这一定律实质上是电流连续性的体现。运用这条定律时必须注意电流的方向, 如果不知道电流的真实方向可以先假设某一电流的正方向(也称参考方向), 根据参考方向就可写出基尔霍夫电流定律表达式。其一般形式为

$$\sum I = 0 \quad (1-2-1)$$

基尔霍夫电压定律(简称 KVL): 在任一时刻, 沿闭合回路电压降的代数和等于零。把这一定律写成一般形式, 即

$$\sum U = 0 \quad (1-2-2)$$

三、实验设备与器件

- (1) 电路原理实验箱或面包板1套;
- (2) 数字万用表1块;
- (3) 线性元器件若干。

四、实验内容

(1) 按图1-2-1接线, 电流和电压采用关联参考方向。

(2) 测量支路电流 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 、 I_5 , 记录数据, 将元器件参数和电流数据分别填入表 1-2-1和表1-2-2中, 验证基尔霍夫电流定律, 注意测量方向。

表1-2-1 实验线路元器件参数

参数	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	U_1	U_2
测量值							

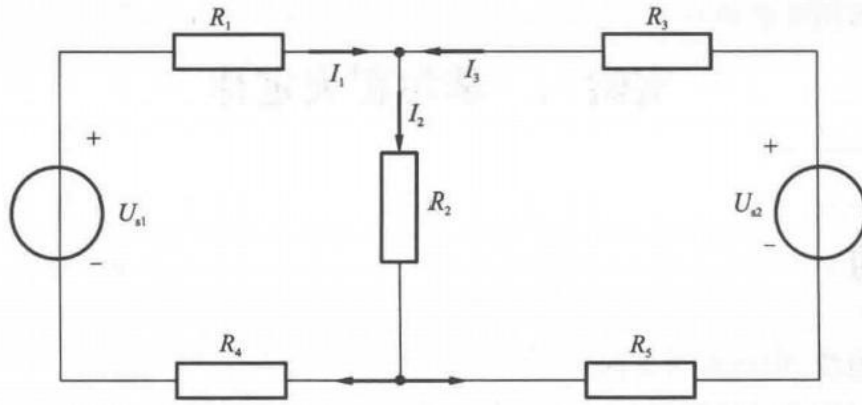


图1-2-1 基尔霍夫定律实验图

表1-2-2 基尔霍夫电流定律记录表

被测量	I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA	I_4/mA	I_5/mA
计算量					
测量值					
相对误差					
测量总值	$I_1+I_2+I_3=$		$I_2+I_4+I_5=$		

(3) 测量电阻元件 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 和 R_5 上的电压值 U_1 、 U_2 、 U_3 、 U_4 和 U_5 ，其方向取和支路电流相关联的方向，记录数据并将其填入表1-2-3中，验证基尔霍夫电压定律。

表1-2-3 基尔霍夫电压定律记录表

被测量	U_1/V	U_2/V	U_3/V	U_4/V	U_5/V
计算量					
测量值					
相对误差					
测量总值	$U_1+U_2+U_4-U_1=$		$U_3+U_2+U_5-U_2=$		

五、实验注意事项

测量电流、电压时都要注意各表的极性、方向和量程。测量时将测量值与计算好的各电流、电压理论值进行比较，以保证测量结果的准确性。

六、思考题

- (1) 如何选择电路节点更有意义？
- (2) 实验产生误差的主要原因是什么？

实验三 叠加原理

一、实验目的

- (1) 学习直流电压表、电流表的测量方法，加深对参考方向的理解。
- (2) 通过实验验证线性电路中的叠加原理及其适用范围。
- (3) 熟悉电工实验台的使用以及电路的接线方法。

二、实验原理

叠加原理定义：在线性电路中，任一支路电流(或电压)都是电路中每一个独立源单独作用时，在该支路中产生的电流(或电压)的代数和，如图1-3-1所示。

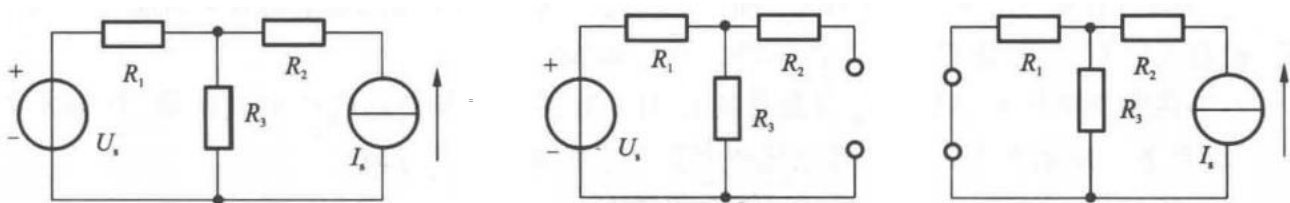


图1-3-1 叠加原理定义图

当某一独立源单独作用时，其他独立源应为零值，独立电压源用短路线代替，独立电流源用开路代替。

在线性电路中，功率是电压或电流的二次函数，所以，叠加定理不适用于功率分析与计算。

三、实验设备与器件

- (1) 电路原理实验箱或面包板1套；
- (2) 数字万用表1块；
- (3) 线性元器件若干。

四、实验内容

1. 实验电路连接及参数选择

实验电路如图1-3-2所示。由 R_1 、 R_2 和 R_3 组成的T形网络实验线路及直流电压源 U_1 和 U_2 构成线性电路。在面包板上按图1-3-2所示电路选择电路参数并连接电路。参数数值及单位填入表1-3-1。

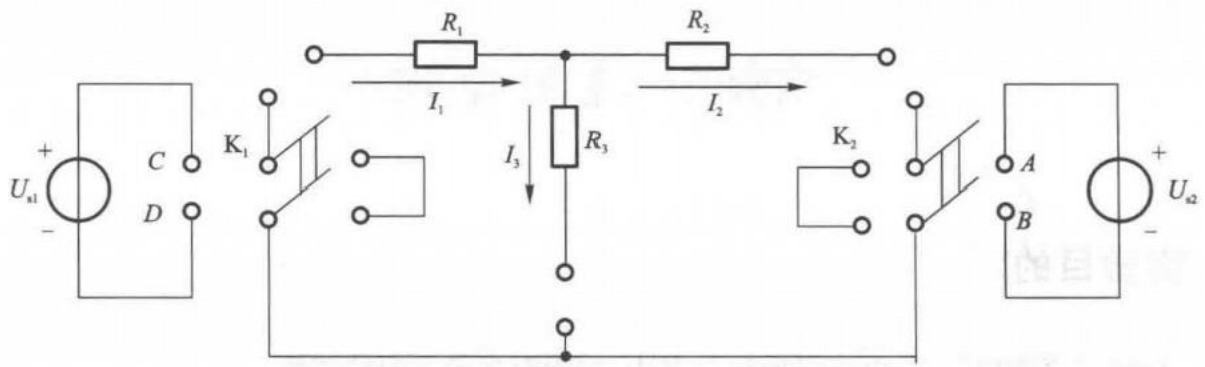


图1-3-2 叠加原理实验图

表1-3-1 实验线路元件参数

参数	R_1	R_2	R_3	U_1	U_2
参数值					

2. 叠加原理的验证

(1) 调节直流电压源输出电压 U_1 和 U_2 ，通过T形网络实验线路上的双刀双掷开关 K_1 、 K_2 把电压源 U_1 、 U_2 分别接到T形网络的CD和AB端。

(2) 在两个电压源单独作用以及共同作用下分别测量各支路电流和电压值，并填入表1-3-2(参考方向见图1-3-2,支路电压和支路电流取关联参考方向)。

表1-3-2验证叠加原理($U = U_1 + U_2, I = I_1 + I_2$)

电源	电流、电压值					
	I_1/mA		I_2/mA		I_3/mA	
	U_1/V		U_2/V		U_3/V	
U_1 单独作用	I'_1		I'_2		I'_3	
	U'_1		U'_2		U'_3	
U_2 单独作用	I''_1		I''_2		I''_3	
	U''_1		U''_2		U''_3	
前两项叠加	$I'_1 + I''_1$		$I'_2 + I''_2$		$I'_3 + I''_3$	
	$U'_1 + U''_1$		$U'_2 + U''_2$		$U'_3 + U''_3$	
U_1, U_2 共同作用	I_1		I_2		I_3	
	U_1		U_2		U_3	

(3) 根据实测数据验证叠加原理。

五、实验注意事项

(1) 测量前应正确选择仪表量程。

(2) 实测的电流和电压数据应根据给定的参考方向冠以正号和负号。

六、思考题

实验电路中，若将一个电阻器改为二极管，试问：叠加原理的叠加性和齐次性还成立吗？为什么？

实验四 戴维南定理

一、实验目的

- (1) 验证戴维南定理。
- (2) 测定线性有源二端网络的外特性和戴维南等效电路的外特性。

二、实验原理

戴维南定理：对于外电路而言，任何一个线性有源二端网络，总可以用一个理想电压源和电阻的串联形式来代替，理想电压源的电压等于原二端网络的开路电压 U_{oc} ，其电阻（又称等效内阻）等于网络中所有独立源置零时的输入端等效电阻 R_{eq} ，如图1-4-1所示。

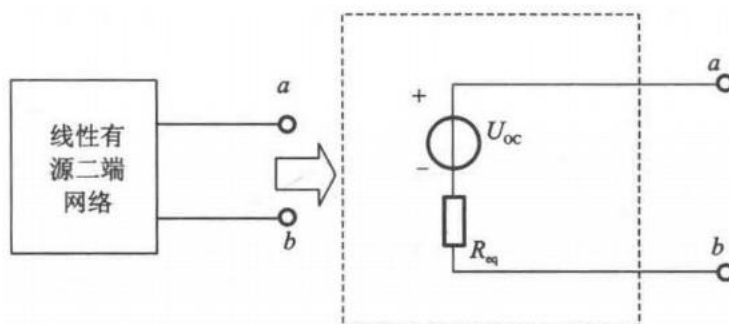


图1-4-1 戴维南等效定理

1. 开路电压的测量方法

当线性有源二端网络的等效电阻 R_{eq} 与电压表的内阻 R_v 相比可以忽略不计时，可以直接用电压表测量开路电压。

2. 等效电阻 R_{eq} 的测量方法

对于已知的线性有源二端网络，其输入端等效电阻 R_{eq} 可以由原网络计算得出，也可以通过实验测出，下面介绍几种测量方法。

方法一：将线性有源二端网络中的独立源都去掉，在 ab 端外加一已知电压 U ，测量一端口口的总电流 I_g ，则等效电阻

$$R_{eq} = \frac{U}{I_g} \quad (1-4-1)$$

实际的电压源和电流源都具有一定的内阻，它并不能与电源本身分开，因此在去掉电源的同时，也把电源的内阻去掉了，无法将电源内阻保留下来，这将影响测量精度，因而这种方法只适用于电压源内阻较小和电流源内阻较大的情况。

方法二：测量 ab 端的开路电压 U_{oc} 及短路电流 I_{sc} ，则等效电阻

$$R_{eq} = \frac{U_{OC}}{I_{SC}} \quad (1-4-2)$$

这种方法适用于ab端等效电阻 R 较大,而短路电流不超过额定值的情形;否则,有损坏电源的危险。

方法三:两次电压测量法。第一次测量ab端的开路电压 U ,第二次在ab端接一已知电阻 R_1 (负载电阻),测量此时ab端的负载电压 U ,则ab端的等效电阻 R 为

$$R_{eq} = \left(\frac{U_{OC}}{U} - 1 \right) R_L \quad (1-4-3)$$

第三种方法克服了第一、二种方法的缺点和局限性,在实际测量中常被采用。

如果用电压等于开路电压 U_{OC} 的理想电压源与等效电阻 R 相串联的电路(称为戴维南等效电路)来代替原线性有源二端网络,则它的外特性 $U=f(I)$ 应与线性有源二端网络的外特性完全相同。

三、实验设备与器件

- (1) 电路原理实验箱或面包板1套;
- (2) 数字万用表1块;
- (3) 线性元器件若干。

四、实验内容

1. 实验电路连接及参数选择

实验电路如图1-4-2所示。由 R_1 、 R_2 和 R_3 组成的T形网络及直流电源 U ,构成线性有源二端网络,可调电阻箱作为负载电阻 R_L 。

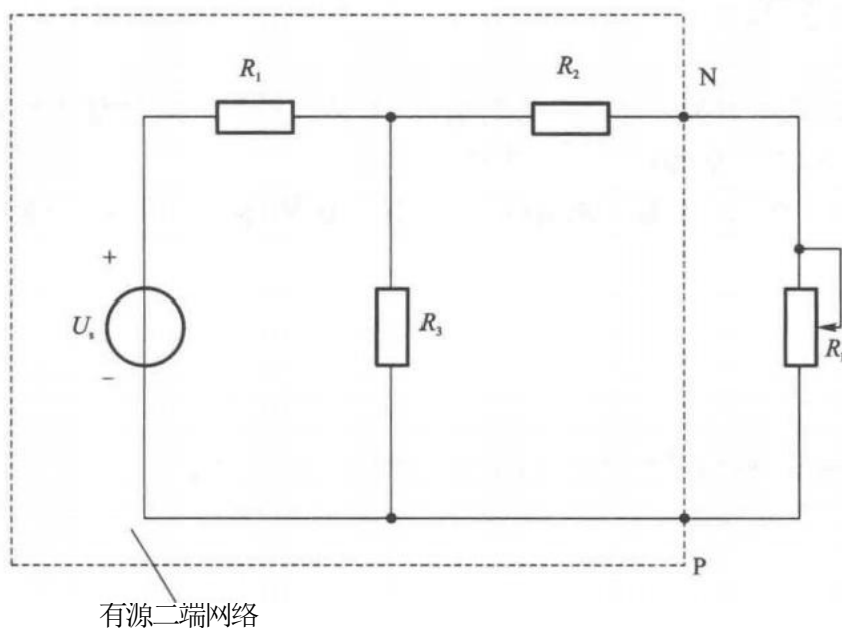


图1-4-2 戴维南等效定理实验图

在实验台上按图1-4-2所示电路选择电路各参数并连接电路，并将参数值及单位填入表1-4-1中。

表1-4-1 实验线路元件参数

参数	R_1	R_2	R_3	U_s	R_L
参数值					

2. 戴维南等效电路参数理论值的计算

根据图1-4-2给出的电路及实验内容1所选择的参数计算线性有源二端网络的开路电压 U_{oc} 、短路电流 I_{sc} 及等效电阻 R_0 并填入表1-4-2中。

表1-4-2 验证戴维南定理

被测量	理论计算值	实验测量值
开路电压 U_{oc}/V		
短路电流 I_{sc}/A		
等效电阻 $R_0=U_{oc}/I_{sc}$		

3. 戴维南等效电路参数的测量

(1) 开路电压 U_{oc} 可以采用电压表直接测量。

测量图1-4-2所示电路中线性有源二端网络端口(N-P) 的开路电压 U_{oc} , 结果记入表1-4-2 中。

(2) 等效内阻 R_0 的测量可以采用测量开路电压及短路电流的方法。

当二端网络内部有源时，测量二端网络的短路电流 I_{sc} ， 计算等效电阻 $R_0=U_{oc}/I_{sc}$ ， 将结果记入表1-4-2 中。

五、实验注意事项

(1) 测量电流、电压时都应注意各表的极性、方向和量程。测量时将测量值与各量的理论计算值进行比较，以保证测量结果的准确性。

(2) 做实验前注意观察实验台面板图，记录有关电源、电阻的参数，并画出本实验所需电路的接线图。

六、思考题

什么情况下电压源具有最大输出功率? 求出最大输出功率。

第二部分

模拟电子技术实验

电子技术日新月异，已渗透到生产、生活等各方面。作为电子技术重要专业基础之一的模拟电子技术实验，更具有其重要性。模拟电子技术实验在培养学生理论联系实际的能力、动手实践能力、创新思维能力，以及使学生掌握有关电子技术测量的基本技能和知识，激发学生对电子技术的学习兴趣等方面发挥着至关重要的作用。本部分实验内容贴近教材内容，突出应用性和创新性，旨在培养学生的实践动手、综合应用、创新思维的能力，以适应时代对人才素质的需要。

实验一 分压式单管共射极放大器

一、实验目的

- (1) 掌握分压式单管共射极放大电路的设计方法。
- (2) 学会放大器静态工作点的调试方法，了解电路元件参数对静态工作点和放大器性能的影响。
- (3) 掌握放大器电压放大倍数、输入电阻、输出电阻及最大不失真输出电压的测试方法。
- (4) 熟悉常用电子仪器及模拟电路实验设备的使用。

二、实验原理

设计一个负载电阻为 $R_L=2.4\text{ k}\Omega$ ，电压放大倍数为 $|A_u|>50$ 的静态工作点稳定的放大电路。晶体管可选择3DG6、9011等，电流放大系数 $\beta=60\sim 150$ ， $I_{cm}\geq 100\text{ mA}$ ， $P_{cm}\geq 450\text{ mW}$ 。

画出放大电路的原理图，可以利用Multisim 10软件进行仿真或者在实验设备上实现，并按要求测量放大电路的各项指标。

1. 原理简述

图2-1-1所示为电阻分压式静态工作点稳定放大器电路。它的偏置电路采用 R_{B1} 和 R_{B2} 组成的分压电路，并在发射极中接有电阻 R_E ，以稳定放大器的静态工作点。当在放大器的输入端加输入信号 u_i 后，在放大器的输出端F处便可得到一个与 u_i 相位相反、幅值被放大的输出信号 u_o ，从而实现电压放大。

2. 静态参数分析

在图2-1-1电路中，当流过偏置电阻 R_{B1} 和 R_{B2} 的电流远大于晶体管的基极电流 I_B （一般为5~10倍）时，则晶体管的静态工作点可用下式估算：

$$U_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} U_{CC} \quad (2-1-1)$$

$$I_E = \frac{U_B - U_{BE}}{R_E} \approx (1 + \beta) I_B \approx I_C \quad (2-1-2)$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C(R_C + R_E) \quad (2-1-3)$$

3. 动态参数分析

电压放大倍数：

$$A_u = -\beta \frac{R_C // R_L}{r_{be}} \quad (2-1-4)$$

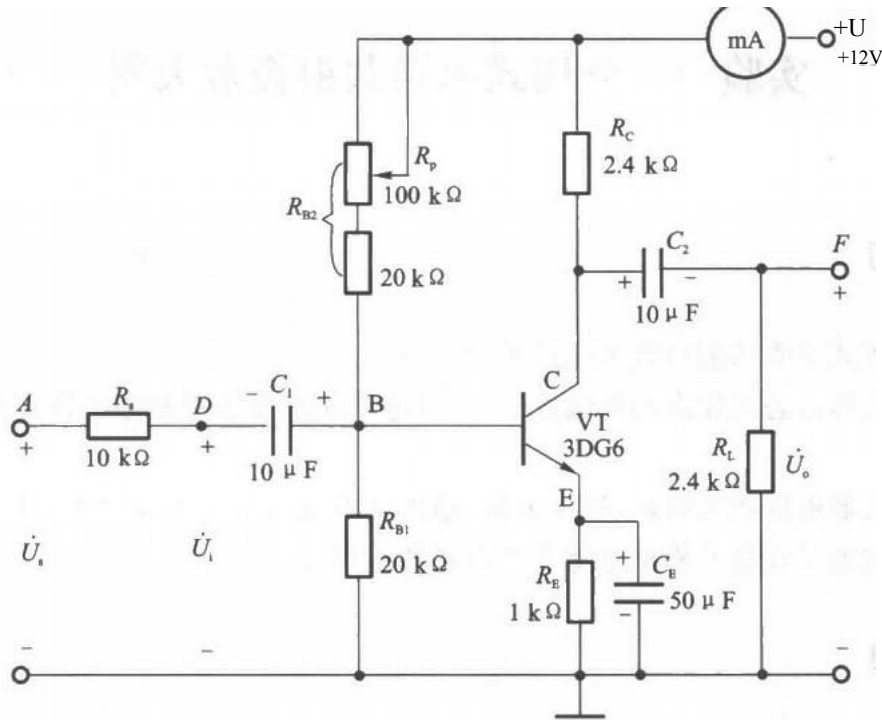


图2-1-1 分压式单管共射放大实验电路

低频三极管发射结的电阻：

$$r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26}{I_E} \quad (2-1-5)$$

输入电阻：

$$R_i = R_m // R // r \quad (2-1-6)$$

输出电阻：

$$R_o \approx R_c \quad (2-1-7)$$

4. 电路参数的设计

1) 电阻 R_g 的选择

根据式(2-1-2), 忽略 U_m 得

$$R_E \approx \frac{U_B}{(1 + \beta) I_B} \quad (2-1-8)$$

式中, β 的取值范围为60~150, U_B 选择3~5 V, I_B 可根据 β 和 I_{cm} 选择。

2) 电阻 R 、 R_m 的选择

流过 R 的电流 I_r 一般为 $(5 \sim 10) I_B$ 所以, R 、 R_m 为

$$R_{B1} \approx \frac{U_B}{I_{R_{B2}} - I_B} \quad (2-1-9)$$

$$R_{B2} \approx \frac{U_{CC} - U_B}{I_{R_{B2}}} \quad (2-1-10)$$

3) 电阻 R_c 的选择

根据式(2-1-3)得

$$R_C \approx \frac{U_{CC} - U_{CE}}{\beta I_B} - R_E \quad (2-1-11)$$

式中, $U_{CE} \approx \frac{1}{2}U_{CC}$, 具体选择 R_c 时, 其应满足电压放大倍数 $|A_v|$ 的要求。此外, 电容 C_1 、 C_2 和 C_g 可选择 $10 \mu F$ 左右的电解电容。

5. 测量与调试

放大器的静态参数是指输入信号为零时的 I_B 、 I_C 、 U_{CE} 和 U_C 。动态参数为电压放大倍数、输入电阻、输出电阻、最大不失真电压和通频带等。

1) 静态工作点的测量

测量放大器的静态工作点, 应在输入信号 $u_1=0$ 的情况下进行, 即将放大器输入端与地端短接, 然后选用量程合适的直流毫安表和直流电压表, 分别测量晶体管的集电极电流 I_C 以及各电极对地的电压 U_B 、 U_C 和 U_E 。实验中, 为了避免断开集电极, 一般采用测量电压 U_E

或 U_C , 然后计算 I_C 的方法。例如, 只要测出 U_E , 即可用 $I_C \approx I_E = \frac{U_E}{R_E}$ 算出 I_C (也可根据 $I_C = \frac{U_{CC} - U_C}{R_c}$, 由 U_C 确定 I_C), 同时也能算出 $U_{CE} = U_C - U_E$, $U_{BE} = U_B - U_E$ 。为了减小误差, 提高测量精度, 应选用内阻较高的直流电压表。

2) 静态工作点的调试

放大器静态工作点的调试是指对晶体管集电极电流 I_C (或 U_{CE}) 的调整与测试。静态工作点是否合适, 对放大器的性能和输出波形都有很大影响。如工作点偏高, 在加入交流信号以后放大器易产生饱和失真, 此时 u_o 的负半周将被削底, 如图 2-1-2(a) 所示; 如工作点偏低则易产生截止失真, 即 u_o 的正半周被削顶 (一般截止失真不如饱和失真明显), 如图 2-1-2(b) 所示。这些情况都不符合不失真放大的要求。所以在选定工作点以后还必须进行动态调试, 即在放大器的输入端加入一定的输入信号 u_1 , 检查输出信号 u_o 的大小和波形是否满足要求。如不满足, 则应调节静态工作点的位置

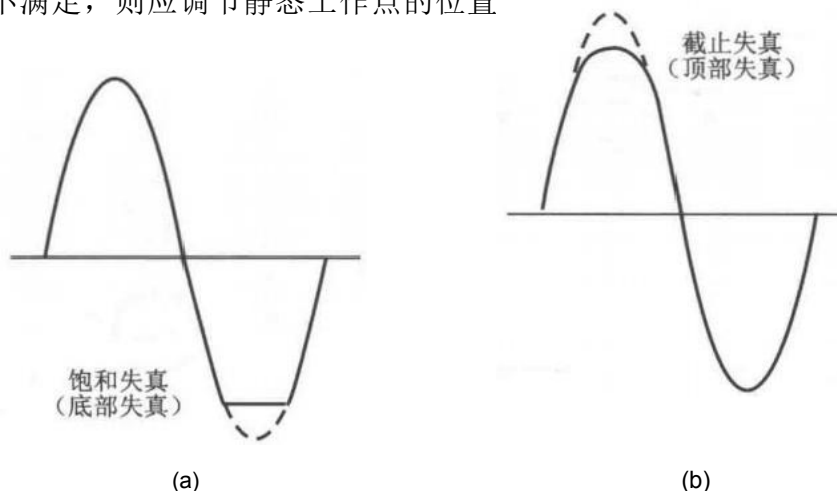


图 2-1-2 静态工作点对输出波形失真的影响

改变电路参数 U_C 、 R_c 、 R_B (R_{B1} 、 R_{B2}) 都会引起静态工作点的变化, 如图 2-1-3 所示。但通常采用调节偏置电阻 R_B 的方法来改变静态工作点, 如减小 R_B 可使静态工作点提高等。

所谓的静态工作点“偏高”或“偏低”不是绝对的, 是相对信号的幅度而言的, 如输入信号幅度很小, 即使静态工作点较高或较低也不一定会出现失真。所以确切地说, 产生波形失真是信号幅度与静态工作点设置配合不当所致。如需满足较大信号幅度的要求, 静态工作点

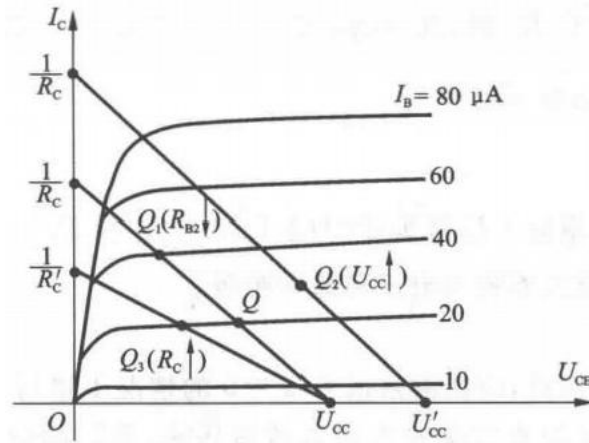


图2-1-3 电路参数对静态工作点的影响

最好尽量靠近交流负载线的中点。

3) 电压放大倍数A_v的计算

调整放大器到合适的静态工作点，然后加入输入信号u_i，在输出信号u_o。不失真的情况下，用交流毫伏表测出u_i和u_o的有效值U_i和U_o，则

$$A_v = \frac{U_o}{U_i}$$

4) 输入电阻R_i的测量

为了测量放大器的输入电阻，按图2-1-4所示电路在被测放大器的输入端与信号源之间串入一已知电阻R，在放大器正常工作的情况下，用交流毫伏表测出U_s和U_i，则根据输入电阻的定义可得

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{\frac{U_s - U_i}{R}} = \frac{U_i}{U_s - U_i} R \tag{2-1-12}$$

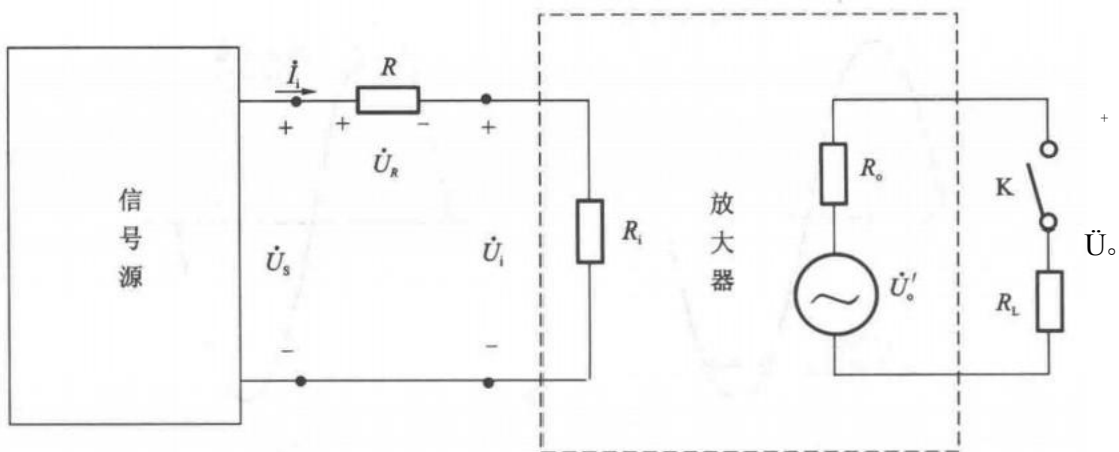


图2-1-4 输入、输出电阻测量电路

测量时应注意下列几点。

(1) 由于电阻R 两端没有电路公共接地点，所以测量 R 两端电压U_g 时必须分别测量U_s和U_i，然后按U_g=U_s-U_i 求出U_g值。

(2) 电阻R 的值不宜取得过大或过小，以免产生较大的测量误差，通常取R 与R_i 为同一数量级为好，本实验可取 R=1~2 kΩ。

5) 输出电阻 R_o 的测量

按图2-1-4所示电路,在放大器正常工作条件下,测出输出端不接负载 R_L 时的输出电压 U'_o 和接入负载后的输出电压 U_o 。根据

$$U_o = \frac{R_L}{R_o + R_L} U'_o \quad (2-1-13)$$

即可求出

$$R_o = \left(\frac{U'_o}{U_o} - 1 \right) R_L \quad (2-1-14)$$

在测试中应注意,必须保持 R_L 接入前后输入信号的大小不变。

6) 最大不失真输出电压 U_{op} 的测量(最大动态范围)

如上所述,为了得到最大动态范围,应将静态工作点调在交流负载线的中点。因此在放大器正常工作情况下,逐步增大输入信号的幅度,并同时调节 R_L (改变静态工作点),用示波器观察 u_o 。当输出波形同时出现削底和削顶现象(见图2-1-5)时,说明静态工作点已调在交流负载线的中点。然后反复调整输入信号,使波形输出幅度最大,且无明显失真,用交流毫伏表测出 U_o (有效值),则动态范围等于 $2\sqrt{2}U_o$ 。或用示波器直接读出 U_{op} 。

7) 放大器幅频特性的测量

放大器的幅频特性曲线是指放大器的电压放大倍数 A_u 与输入信号频率 f 之间的关系曲线。单管阻容耦合放大电路的幅频特性曲线如图2-1-6所示, A_{um} 为中频电压放大倍数,通常规定电压放大倍数随频率变化下降到中频电压放大倍数的 $1/\sqrt{2}$ 倍,即 $0.707A_{um}$ 所对应的两个频率分别称为下限频率 f_L 和上限频率 f_H ,通频带 $BW=f_H-f_L$ 。在测量时应注意取点要恰当,在低频段与高频段应多取几点,在中频段可以少取几点。此外,在改变频率时,要保持输入信号的幅度不变,且输出波形不得失真。幅频特性也可以用对数来表示,用对数表示的频率特性图也称为波特图。

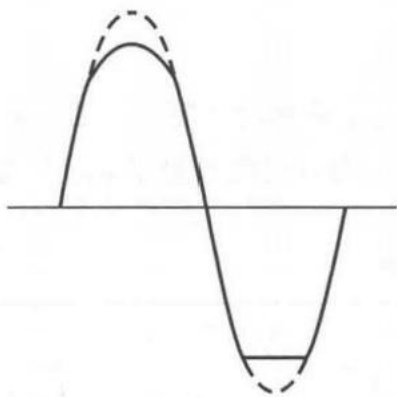


图2-1-5 静态工作点正常,输入信号太大引起的失真

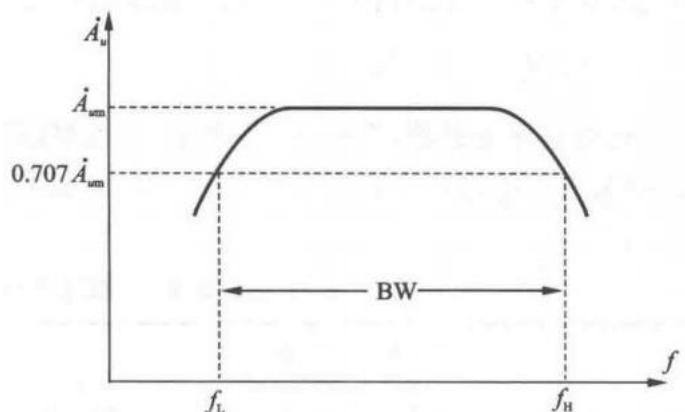


图2-1-6 幅频特性曲线

8) 常用晶体管管脚识别

实验中常用的低频小功率三极管有3DG6、9011、3CG、9012、9013系列,它们都属NPN型结构,其管脚排列规律如图2-1-7所示。

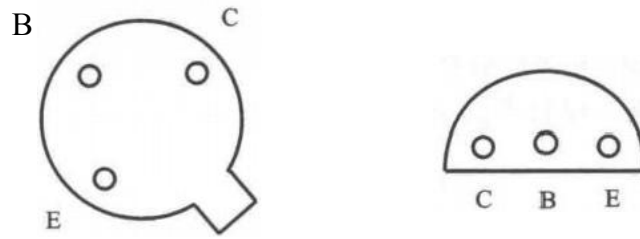


图2-1-7 常用晶体三极管管脚排列图

三、实验设备与器件

- (1) +12V 直流电源1台；
- (2) 函数信号发生器1台；
- (3) 双踪示波器1台；
- (4) 交流毫伏表1块；
- (5) 数字万用表1块；
- (6) 模拟电子线路实验箱1套；
- (7) 晶体三极管3DG6 ($\beta = 50 \sim 150$) 或9011 (管脚排列如图2-1-7所示)；
- (8) 电阻、电容若干。

四、实验内容

实验电路如图2-1-1所示，各电子仪器可按常用电子仪器使用的方式连接。为防止干扰，各仪器的公共端必须连在一起，同时信号源、交流毫伏表和示波器的引线应采用专用电缆线或屏蔽线。如使用屏蔽线，则屏蔽线的外包金属网应接在公共接地端上。

1. 调试静态工作点

接通直流电源前，先将R₁调至最大，函数信号发生器输出旋钮旋至零。接通+12V 电源、调节R₁，使 $I_B = 2\text{mA}$ (即 $U_{R1} = 2\text{V}$)，测量 U_{BE} 、 U_{CE} 及用万用电表测量 R₁ 值，记入表2-1-1。

表2-1-1 静态工作点测量记录

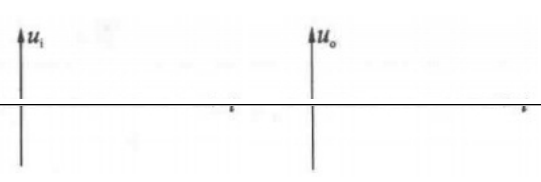
测 量 值				计 算 值		
U_{BE}/V	U_{CE}/V	U_{CE}/V	$R_1/\text{k}\Omega$	U_{CE}/V	U_{CE}/V	I_C/mA

2. 测量电压放大倍数

放大器静态工作点调试完毕后，再在放大器输入端加入频率为1kHz 的正弦信号 u_i ，调节函数信号发生器的输出旋钮使放大器输入电压 $U_i \approx 10 \text{ mV}$ ，同时用示波器观察放大器输

出信号 u_o 波形,在波形不失真的条件下用交流毫伏表测量下述三种情况下的 U_o 值,并用双踪示波器观察 u_i 和 u_o 的相位关系,记入表2-1-2。

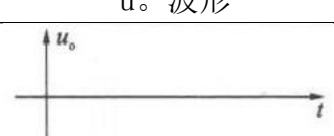
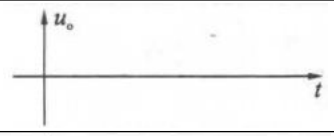
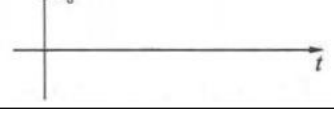
表2-1-2 动态参数测量记录

$R_c/k\Omega$	$R_L/k\Omega$	U_o/V	A_o	观察记录一组 u_i 和 u_o 波形
				

3.观察静态工作点对电压放大倍数的影响

设置 $R_c=2.4k\Omega, R_1=$,选择合适的 U_i ,调节 R_o ,用示波器监视输出信号波形,在 u_o 不失真的条件下,测量几组 I_c 和 U_o 值,记入表2-1-3。

表2-1-3 静态工作点与波形失真的规律记录

I_c/mA	U_{ce}/V	u_o 波形	失真情况	三极管工作状态
				
				
				

测量 I_c 时,要先将信号源输出旋钮旋至零(即 $U=0$)。

4.观察静态工作点对输出波形失真的影响

设置 $R_c=2.4k\Omega, R_L=2.4k\Omega, u_i=0$,调节 R_o 使 $I_e=2mA$,测出 U_{ce} 值,再逐步加大输入信号,使输出信号 u_o 足够大但不失真。然后保持输入信号不变,分别增大和减小 R_o ,使波形失真,绘出 u_o 的波形,并测出失真情况下的 I_c 和 U_{ce} 值,记入表2-1-3中。每次测量 I_c 和 U_{ce} 值时都要将信号源的输出旋钮旋至零。

5.测量最大不失真输出电压

设置 $R_c=2.4k\Omega, R_1=2.4k\Omega$,按照实验原理“最大不失真输出电压 U_{opp} 的测量”中所述方法,同时调节输入信号的幅度和 R_o ,用示波器和交流毫伏表测量 U_{op} 及 U_o 值,记入表2-1-4。

表2-1-4 最大不失真输出电压测量记录

I_c/mA	U_i/mV	U_o/V	U_{opp}

6. 测量输入电阻和输出电阻

设置 $R_c=2.4k\Omega, R_1=2.4k\Omega, I_c=2mA$, 输入 $f=1kHz$ 的正弦信号, 在输出信号 u_o 。不失真的情况下, 用交流毫伏表测出 U_i ; U_o 和 U_o' 的值并记入表2-1-5。再保持 U_i 不变, 断开 R_1 , 测量输出电压 U_o' 。记入表2-1-5。

表2-1-5 输入、输出电阻测量记录

U_i / mV	U_o / mV	$R_i / k\Omega$		U_o / V	U_o' / V	$R_o / k\Omega$	
		测量值	计算值			测量值	计算值

7. 测量幅频特性曲线

设置 $R_c=2.4k\Omega, R_1=2.4k\Omega, I_c=2mA$ 。保持输入信号 u_i 的幅度不变, 按10倍频规律增加信号源频率 f , 逐点测出相应的输出电压 U_o 。并计算出电压放大倍数, 记入表2-1-6。

表2-1-6 幅频特性测量记录

f	1 Hz	10 Hz	100 Hz	1 kHz	10 kHz	100 kHz	1 MHz
U_o / V							
A							

说明: 本实验内容较多, 其中3、7可作为选作内容。

五、实验注意事项

- (1) 检查模拟电子电路实验箱是否能正常工作(电源是否通电, 三极管是否损坏, 可变电阻能否调整)。
- (2) 接线后, 需检查无误后通电。
- (3) 可以采用仿真实验进行模拟。在计算机上采用Multisim10 软件进行电路连接、调试和测量。

六、思考题

- (1) 怎样测量 R_i 电阻值?
- (2) 测试中, 如果将函数信号发生器、交流毫伏表、示波器中任一仪器的两个测试端子接线换位(即各仪器的接地端不再连在一起), 将会出现什么问题?

实验二 射极跟随器

一、实验目的

- (1) 掌握射极跟随器的特性及测试方法。
- (2) 进一步学习放大器各项参数调试方法。

二、实验原理

射极跟随器的原理如图2-2-1所示。它是一个电压串联负反馈放大电路，它具有输入阻抗高、输出阻抗低、输出电压能够在较大范围内跟随输入电压做线性变化以及输入、输出信号近似相同等特点。

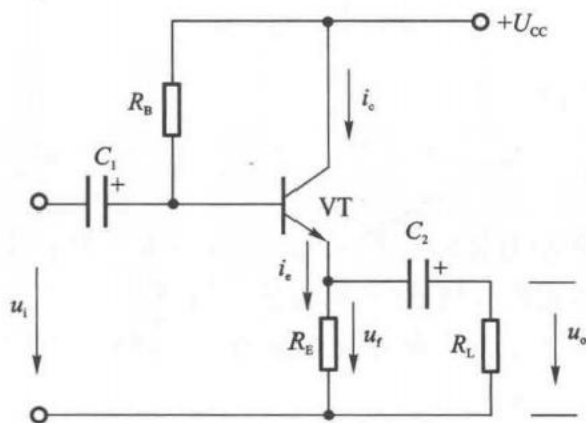


图2-2-1 射极跟随器

射极跟随器的输出取自发射极，故又称其为射极输出器。

1. 输入电阻 R_i 的计算

由图2-2-1电路可知

$$R = r_u + (1 + \beta)R_g \quad (2-2-1)$$

如考虑偏置电阻 R_B 和负载 R_L 的影响，则

$$R_i = R_B // [r_{be} + (1 + \beta)(R_E // R_L)] \quad (2-2-2)$$

2) 式中， r_{be} 为 BE 结的交流电阻。由式 (2-2-2) 可知射极跟随器的输入电阻 R_i 比共射极单管放大器的输入电阻 $R_i = R_B // r_{be}$ 要大得多，但由于偏置电阻 R_B 的分流作用，输入电阻难以进一步增大。

输入电阻的测试方法同单管放大器的一样，实验路线如图2-2-2所示。因此，射极跟随器的输入电阻 R_i 为

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{U_s - U_i} R_s$$

即只要测得 A、B 两点的对地电压即可计算出 R_o 。

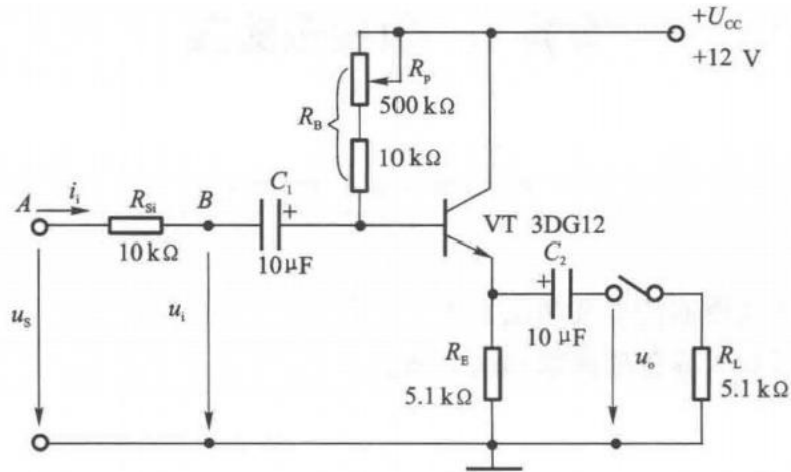


图2-2-2 射极跟随器实验电路

2. 输出电阻 R_o 的计算

由图2-2-1电路可知

$$R_o = \frac{r_{be}}{\beta} // R_E \approx \frac{r_{be}}{\beta} \quad (2-2-3)$$

如考虑信号源内阻 R_s ，则

$$R_o = \frac{r_{be} + (R_s // R_B)}{\beta} // R_E \approx \frac{r_{be} + (R_s // R_B)}{\beta} \quad (2-2-4)$$

由式(2-2-4)可知射极跟随器的输出电阻 R_o 。比共射极单管放大器的输出电阻 $R_o \approx R_c$ 小得多。所以，选取的三极管的 β 值越高，则输出电阻越小。

其输出电阻 R_o 的测试方法亦同单管放大器的一样，即先测出空载输出电压 U_o ，再测接入负载 R_L 后的输出电压 U_1 ，根据

$$U_1 = \frac{R_L}{R_o + R_L} U_o \quad (2-2-5)$$

即可求出输出电阻 R_o 的值，即

$$R_o = (U_o / U_1 - 1) R_L \quad (2-2-6)$$

3. 电压放大倍数 A_u 的计算

由电路可知， A_u 值为

$$A_u = \frac{(1 + \beta)(R_E // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta)(R_E // R_L)} \leq 1 \quad (2-2-7)$$

式(2-2-7)说明射极跟随器的电压放大倍数小于等于1，且为正值，这是深度电压负反馈的结果。但它的射极电流仍比基极电流大 $(1 + \beta)$ 倍，所以它具有一定的电流和功率放大作用。

三、实验设备与器件

- (1) +12 V 直流电源1台；
- (2) 函数信号发生器1台；

- (3) 双踪示波器1台；
- (4) 交流毫伏表1块；
- (5) 数字万用表1块；
- (6) 模拟电子线路实验箱1套；
- (7) 晶体三极管3DG12($\beta=50\sim 100$)1 个或9013；
- (8) 电阻、电容若干。

四、实验内容

1. 连接实验电路

按图2-2-2连接实验电路。

2. 静态工作点的调整

接通+12V 直流电源，在B 点加入 $f=1\text{kHz}$ 的正弦信号 u ，在输出端用示波器监视输出波形，反复调整R。及输入信号幅度，使可在示波器的屏幕上观测到一个最大且不失真输出波形，然后置 $u=0$ ，测量晶体管各电阻对地电压，将测得数据记入表2-2-1中。

表2-2-1 静态工作点

UE/V	Ug/V	Ue/V	$I_E = \frac{U_E}{R_E} / \text{mA}$

在以下整个测试过程中应保持R。 值不变(即保持静态工作点 I_E 不变)。

3. 测量电压放大倍数A。

接入负载 $R_L=5.1\text{k}\Omega$ ， 在 B 点加入 $f=1\text{kHz}$ 的正弦信号 u ，调节输入信号幅度，用示波器观察输出波形 u_o 。在输出最大不失真电压情况下，用交流毫伏表测 U 、 U_1 值，并记入 表2-2-2。

表2-2-2 放大倍数

U, /V	U_1 /V	$A_u = \frac{U_o}{U_i}$

4. 测量输出电阻R。

接负载 $R_L=5.1\text{k}\Omega$ ， 在 B 点加入 $f=1\text{kHz}$ 的正弦信号 u ，用示波器监视输出波形，测空载输出电压 U_o 。及有负载时输出电压 U_1 ，并记入表2-2-3。

表2-2-3 输出电阻

U_o /V	U_1 /V	$(\frac{U_o}{U_1} - 1)R_L / \text{k}\Omega$

5. 测量输入电阻 R_i

在 A 点加入 $f=1\text{kHz}$ 的正弦信号 u_s ，用示波器监视输出波形，用交流毫伏表分别测出 A、B 点对地的电压 U_s 、 U_i ，并记入表 2-2-4。

表 2-2-4 输入电阻

U_s / V	U_i / V	$R_i = \frac{U_i}{U_s - U_i} R_s / \text{k}\Omega$

五、实验注意事项

(1) 检查模拟电子电路实验箱是否能正常工作(电源是否通电，三极管是否损坏，可变电阻能否调整)。

(2) 按图 2-2-2 接线，检查无误后通电。

(3) 也可以采用仿真实验进行模拟，在计算机上采用 Multisim10 软件进行电路连接、调试和测量。

(4) 列表整理测量结果，并把实测的静态工作点、电压放大倍数、输入电阻、输出电阻值与理论计算值进行比较(取一组数据进行比较)，分析误差产生的原因。

六、思考题

(1) 整理实验数据，将测量数据 A_v 、 R_i 、 R_o 与理论计算值进行比较，并分析误差产生原因。

(2) 分析射极跟随器的性能和特点。

实验三 差分放大器

差分放大器又称差动放大电路，它是一种能够有效地抑制零点漂移的直流放大器。它有多种形式的电路结构：基本结构、长尾结构和恒流源结构，并有四种输入/输出方式(差分输入/双端输出方式、差分输入/单端输出方式、单端输入/双端输出方式、单端输入/单端输出方式)。

一、实验目的

- (1) 加深对差分放大器性能及特点的理解。
- (2) 学会调节差分放大器的静态工作点。
- (3) 掌握差模放大倍数的测试方法。
- (4) 掌握共模放大倍数及共模抑制比 K_{cmR} 的测试方法。

二、实验原理

图2-3-1所示为差分放大器的基本结构。它由两个元件参数相同的基本共射放大电路组成。当开关K 拨向左边时，构成长尾差分放大器。调零电位器 R_p 用来调节 VT_1 、 VT_2 管的静态工作点，使得输入信号 $U_i=0$ 时，双端输出电压 $U_o=0$ 。 R_p 为两管共用的发射极电阻，它对差模信号无负反馈作用，因而不影响差模放大倍数，但对共模信号有较强的负反馈作用，故可以有效地抑制零点漂移，稳定静态工作点。

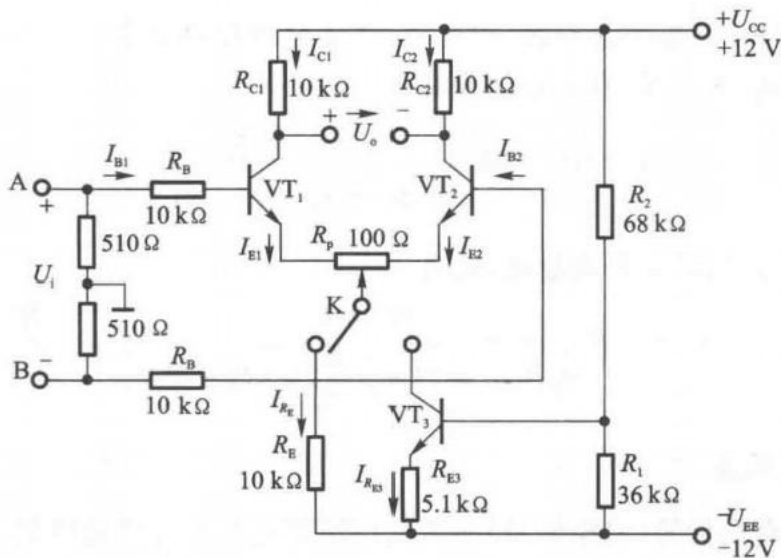


图2-3-1 差分放大器实验电路

当开关K 拨向右边时，构成具有恒流源的差分放大器。它用晶体管恒流源代替发射极电阻 R_g ，可以进一步提高差分放大器抑制共模信号的能力。

1. 静态工作点的估算

长尾差分电路:

$$I_B = \frac{|U_{EE}| - U_{BE}}{R_B + (1 + \beta) \frac{R_p}{2} + 2(1 + \beta) R_E} \quad (2-3-1)$$

$$I_x = 2I_e \approx 2I_c = 2\beta I_B \quad (2-3-2)$$

$$U_c = U_{CC} - I_c R_c \quad (2-3-3)$$

恒流源差分电路:

$$I_{C3} \approx I_{R_{E3}} \approx \frac{R_1}{R_1 + R_2} \frac{(U_{CC} + |U_{EE}|) - U_{BE3}}{R_{E3}} \quad (2-3-4)$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \approx \frac{I_E}{\beta} = \frac{1}{\beta} \frac{I_{R_{E3}}}{2} \quad (2-3-5)$$

2. 差模放大倍数和共模放大倍数

当差分放大器的射极电阻 R_g 足够大, 或采用恒流源时, 差模放大倍数 A_d 由输出端方式决定, 而与输入方式无关。

(1) 双端输出: $R_E \rightarrow \tilde{R}$ 。在中心位置时,

$$A_d = \frac{\Delta U_o}{\Delta U_i} = -\beta \frac{R_c // \frac{R_L}{2}}{R_B + r_{be} + (1 + \beta) \frac{R_p}{2}} \quad (2-3-6)$$

当输入共模信号时, 在理想对称情况下

$$A_c = \frac{\Delta U_o}{\Delta U_i} = 0 \quad (2-3-7)$$

实际上由于元件不可能完全对称, 因此 A_c 也不会绝对等于零。

(2) 单端输出: $R_g \rightarrow R$ 。在中心位置时,

$$A_{d1} = A_{d2} = \pm \frac{1}{2} \beta \frac{R_c // R_L}{R_B + r_{be} + (1 + \beta) \frac{R_p}{2}} \quad (2-3-8)$$

当输入共模信号时, 若为单端输出, 则有

$$A_{c1} = A_{c2} = -\beta \frac{R_c // R_L}{R_B + r_{be} + (1 + \beta) \frac{R_p}{2} + 2(1 + \beta) R_E} \approx -\frac{R_c}{2R_E} \quad (2-3-9)$$

3. 共模抑制比 K_{CM}

差分放大器对有用信号(差模信号)的放大作用和对共模信号的抑制能力通常用一个综合指标来衡量, 即共模抑制比 K_{CMR} :

$$K_{CMR} = \left| \frac{A_d}{A_c} \right| \quad \text{或} \quad K_{CMR} = 20 \lg \left| \frac{A_d}{A_c} \right| \quad (2-3-10)$$

差分放大器的输入信号可采用直流信号也可采用交流信号。本实验由函数信号发生器提供频率 $f=1\text{kHz}$ 的正弦信号作为输入信号。

三、实验设备与器件

- (1) $\pm 12\text{ V}$ 直流电源1台;
- (2) 函数信号发生器1台;
- (3) 双踪示波器1台;
- (4) 交流毫伏表1块;
- (5) 直流电压表1块;
- (6) 模拟电子线路实验箱1套;
- (7) 晶体三极管3DG6 $\times 3$ (或9011 $\times 3$), 要求 VT_1 、 VT_2 管特性参数一致;
- (8) 电阻、电容若干。

四、实验内容

1. 长尾差分放大器性能测试

按图2-3-1连接实验电路, 开关K 拨向左边构成长尾差分放大器。

(1) 测量静态工作点

①调节放大器零点 信号源不接入, 将放大器输入端A、B与地短接, 接通 $\pm 12\text{ V}$ 直流电源, 用直流电压表测量输出电压 U_o , 调节调零电位器 R_w , 使 $U_o = 0$ 。

②测量静态工作点 零点调好以后, 用直流电压表测量 VT_1 、 VT_2 管各电极电位及射极电阻 R_e 两端电压 U_{g_e} , 记入表2-3-1。

表2-3-1 长尾差分放大器静态工作点测量记录

测量值	U_{c_1}/V	U/V	U_{E_1}/V	U_{c_2}/V	U_p/V	U_{E_2}/V	U_e/V
计算值	I_c/mA		I_g/mA		U_{ce}/V		

(2) 测量差模放大倍数

断开直流电源, 将函数信号发生器的输出端接放大器输入端 A, 地端接放大器输入端 B 构成单端输入方式, 输入频率 $f=1\text{kHz}$ 的正弦信号, 并将输出旋钮旋至零, 用示波器监视输出端(集电极 C_1 或 C_2 与地之间)。接通 $\pm 12\text{ V}$ 直流电源, 逐渐增大输入电压 U_i (约 100 mV), 在输出波形无失真的情况下, 用交流毫伏表测量 U_o 、 U_{c_1} 、 U_{c_2} 的值, 记入表2-3-2 中, 并

观察 u_o 、 u_{c_1} 、 u_{c_2} 之间的相位关系及 U_{π} 随 U_i 变化而变化的情况。

(3) 测量共模放大倍数

将放大器A、B短接, 信号源接在A 端与地之间, 构成共模输入方式, 调节输入信号 $f=1\text{kHz}$, $U_i=1\text{V}$, 在输出波形无失真的情况下, 测量 U_{c_1} 、 U_{c_2} 的值并记入表2-3-1, 并观察 u_{c_1} 、 u_{c_2} 之间的相位关系及 U_{π} 随 U_i 变化而变化的情况。

2. 具有恒流源的差分放大器性能测试

将图2-3-1电路中开关 K 拨向右边, 构成具有恒流源的差分放大器。重复实验上述内容(2)、(3), 测量值记入表2-3-2中。

表2-3-2 差分放大器差模及共模放大倍数测量记录

测 量 值	长尾差分放大器		恒流源差分放大器	
	单端输入	共模输入	单端输入	共模输入
U_i	100 mV	1 V	100 mV	1 V
U_{C1}/V				
U_{C2}/V				
$A_{d1} = \frac{U_{C1}}{U_i}$				
$A_d = \frac{U_o}{U_i}$				
$A_{c1} = \frac{U_{C1}}{U_i}$				
$A_c = \frac{U_o}{U_i}$				
$K_{CMR} = \left \frac{A_{d1}}{A_{c1}} \right $				

五、实验注意事项

(1) 整理实验数据, 列表比较实验测量结果和理论计算值, 分析误差原因。

① 静态工作点和差模放大倍数的计算;

② 长尾差分放大器单端输出时 K_{cmR} 的实测值与理论值比较;

③ 长尾差分放大器单端输出时 K_{cmR} 的实测值与具有恒流源的差分放大器 K_{cmR} 实测值比较。

(2) 比较 u_{i1} 、 u_{ci} 的 u_c 之间的相位关系。

(3) 根据实验结果, 总结电阻 R_g 和恒流源的作用。

六、思考题

(1) 根据实验电路参数, 计算长尾差分放大器和具有恒流源的差分放大器的静态工作点及差模放大倍数(取 $\beta = \beta_2 = 100$)。

(2) 测量静态工作点时, 放大器输入端 A、B 与地应如何连接?

(3) 实验中怎样获得双端和单端输入差模信号? 怎样获得共模信号? 画出 A、B 端与信号源之间的连接图。

实验四 负反馈放大器

负反馈在电子电路中有着非常广泛的应用,虽然它使放大器的放大倍数降低,但能在多方面改善放大器的动态指标,如稳定放大倍数,改变输入、输出电阻,减小非线性失真和展宽通频带等。因此,几乎所有的实用放大器都带有负反馈。

一、实验目的

- (1) 理解负反馈放大器的工作原理及负反馈对放大器性能指标的影响。
- (2) 掌握负反馈放大器主要性能指标的测量与调试方法。
- (3) 进一步掌握多级放大器静态工作点的调试方法。

二、实验原理

负反馈放大器有四种组态,即电压串联、电压并联、电流串联和电流并联。本实验以电压串联负反馈为例,分析负反馈对放大器各项性能指标的影响。

1. 电压串联负反馈

图2-4-1所示为带有电压串联负反馈的两级阻容耦合放大器,在电路中通过 R_f 把输出电压 U_o 引回输入端,加在晶体管 VT_1 的发射极上,在发射极电阻 R_{e1} 上形成反馈电压 U_f 。根据反馈的判断方法可知,它属于电压串联负反馈。其主要性能指标如下。

(1) 闭环电压放大倍数:

$$\dot{A}_{uf} = \frac{\dot{A}_u}{1 + \dot{A}_u \dot{F}_u} \quad (2-4-1)$$

式中, $\dot{A}_u = \frac{U_o}{U_i}$ 为基本放大器(无反馈)的电压放大倍数,即开环电压放大倍数; $1 + \dot{A}_u \dot{F}_u$ 为反馈深度,它的大小决定了负反馈改善放大器性能的程度。

(2) 反馈系数:

$$\dot{F}_u = \frac{R_{f1}}{R_i + R_{f1}} \quad (2-4-2)$$

(3) 输入电阻:

$$R_{if} = (1 + \dot{A}_u \dot{F}_u) R_i \quad (2-4-3)$$

式中, R_i 为基本放大器的输入电阻。

(4) 输出电阻:

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 + \dot{A}_{uo} \dot{F}_u} \quad (2-4-4)$$

式中, R_o 为基本放大器的输出电阻; \dot{A}_{uo} 为基本放大器 $R_L = \infty$ 时的电压放大倍数。

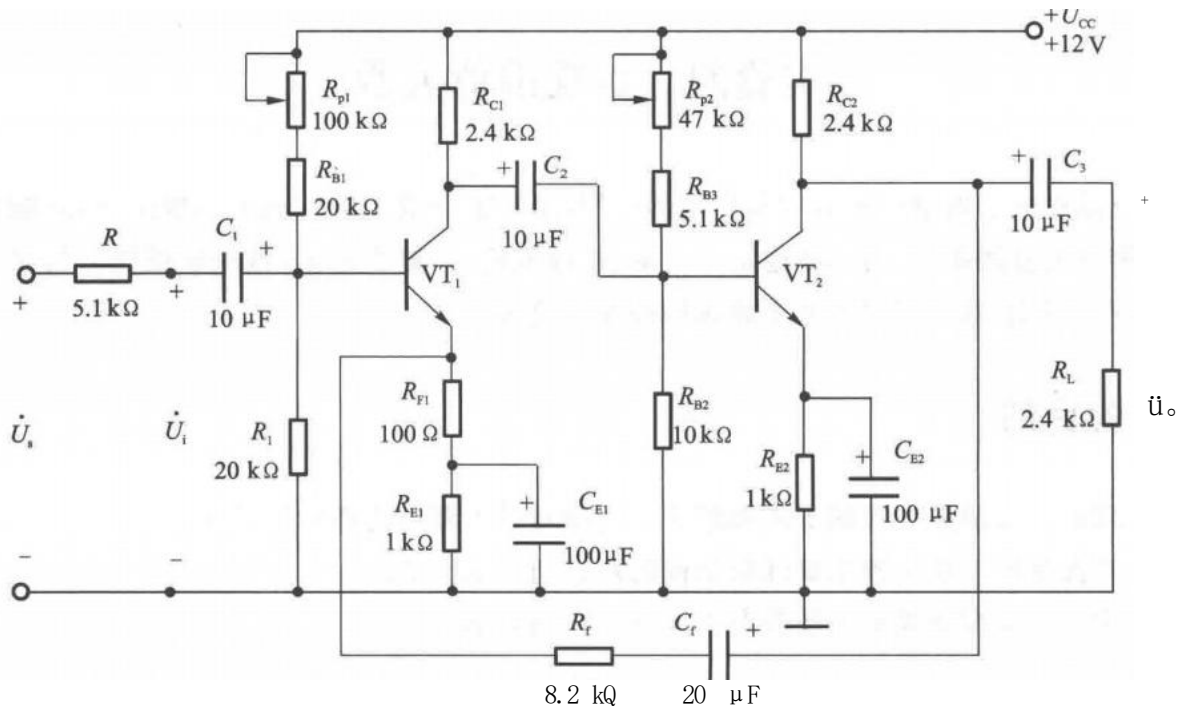


图2-4-1 带有电压串联负反馈的两级阻容耦合放大器

2. 测量基本放大器的动态参数

怎样实现无反馈而得到基本放大器的动态参数呢?不能简单地断开反馈支路,而是要去掉反馈作用,但又要把反馈支路的影响(负载效应)考虑到基本放大器中去。为此:

(1)在画基本放大器的输入回路时,因为是输出端电压负反馈,所以可将负反馈放大器的输出端交流短路,即令 $u_o = 0$,此时 R_f 相当于并联在 R_n 上。

(2)在画基本放大器的输出回路时,由于输入端是串联负反馈,因此需将反馈放大器的输入端(VT_1 管的射极)开路,此时 $R_f + R_n$ 相当于并联在输出端。

根据上述规律,就可得到所要求的如图2-4-2所示的基本放大器。

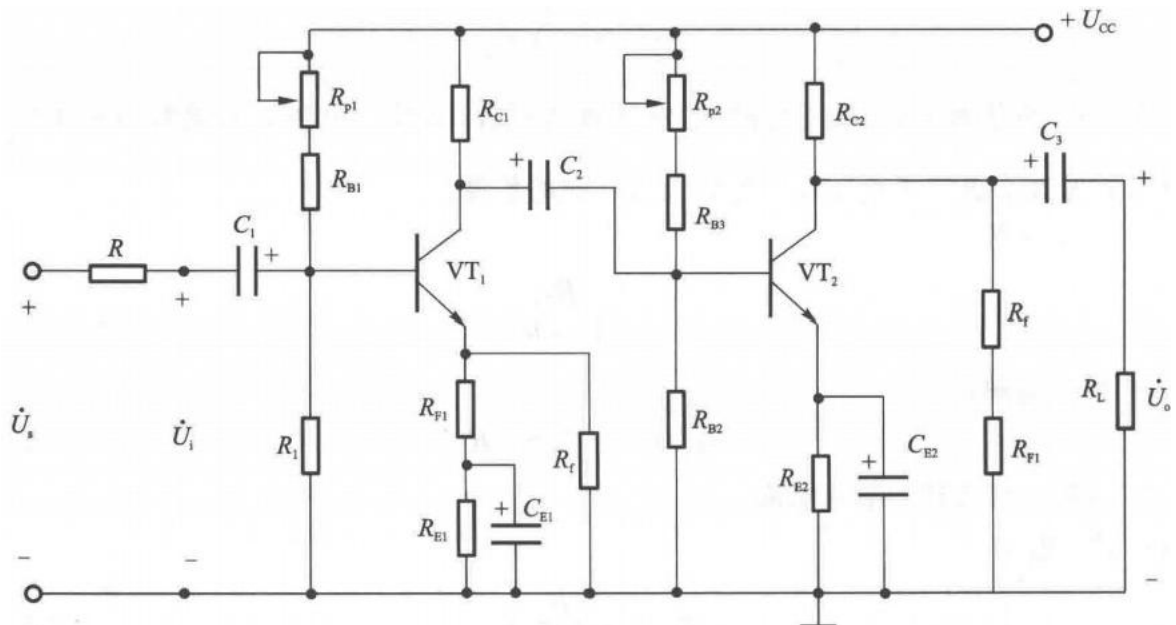


图2-4-2 无反馈的基本放大器

三、实验设备与器件

- (1) +12 V 直流电源 1 台；
- (2) 函数信号发生器 1 台；
- (3) 双踪示波器 1 台；
- (4) 交流毫伏表 1 块；
- (5) 数字万用表 1 块；
- (6) 模拟电子线路实验箱 1 套；
- (7) 晶体三极管 3DG6×2 ($\beta=50\sim 100$) 或 9011×2；
- (8) 电阻、电容若干。

四、实验内容

1. 测量静态工作点

按图 2-4-1 连接实验电路，取 $V_c=+12V, U_1=0$ ，用数字万用表分别测量第一级、第二级的静态工作点，并记入表 2-4-1 中。

表 2-4-1 静态工作点记录

级 数	U_g/V	U_E/V	U_c/V	I_c/mA
第一级				
第二级				

2. 测试基本放大器的各项性能指标

将实验电路按图 2-4-2 改接，把 R_L 断开后分别并联在 R_r 和 R_L 上，其他连线不动。

(1) 测量中频电压放大倍数 A_u 、输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 。

① 将 $f=1kHz$ 、 u_i 约 $5mV$ 的正弦信号输入放大器，用示波器监视输出波形 u_o ，在 u_o 不失真的情况下，用交流毫伏表测量 U_i 、 U_o 、 U_1 ，测量值记入表 2-4-2 中。

② 保持 U_i 不变，断开负载电阻 R_L （注意 R_o 不要断开），测量空载时的输出电压 U_o ，记入表 2-4-2 中。

表 2-4-2 基本放大器和负反馈放大器的各项性能指标记录

类型	测 量 值				计 算 值		
	U_i/mV	U_o/mV	U_1/V	U_o/V	A_u	$R_i/k\Omega$	$R_o/k\Omega$
基本 放大器							
负反馈 放大器					A_u	$R_i/k\Omega$	$R_{of}/k\Omega$

(2) 测量通频带。

接上 R_1 , 保持中的 u_i 不变, 然后增加和减小输入信号的频率, 找出上、下限频率 f_n 和 f_1 , 记入表2-4-3中。

表2-4-3 基本放大器和负反馈放大器的上、下限频率指标记录

基本放大器	f_i/kHz	f_H/kHz	BW/kHz
负反馈放大器	f_u/kHz	f_m/kHz	BW _; /kHz

3. 测试负反馈放大器的各项性能指标

将实验电路恢复为图2-4-1所示的负反馈放大器, 适当加大 u_i (约10 mV), 在输出波形不失真的条件下, 测量负反馈放大器的 A 、 R_4 和 R_o , 记入表2-4-2中; 测量 f_u 和 f_m , 记入表2-4-3中。

4. 观察负反馈对非线性失真的改善

(1) 将实验电路改接成基本放大器形式。在输入端加入 $f=1$ kHz的正弦信号, 输出端接示波器, 逐渐增大输入信号的幅度, 使输出波形开始出现失真, 记下波形开始失真时的波形和输出电压的幅度。

(2) 再将实验电路改接成负反馈放大器形式。增大输入信号幅度, 使输出电压幅度的大小与步骤(1)的相同, 比较有负反馈时, 输出波形的变化。

五、实验注意事项

(1) 检查模拟电子电路实验箱是否能正常工作(电源是否通电, 三极管是否损坏, 可变电阻能否调整)。

(2) 按图2-4-1接线, 检查无误后通电。

(3) 也可以采用仿真实验进行模拟, 在计算机上采用Multisim10 软件进行电路连接、调试和测量。

(4) 必须将基本放大器和负反馈放大器动态参数的实测值和理论计算值列表进行比较。

(5) 应根据实验结果, 总结出电压串联负反馈对放大器性能的影响。

六、思考题

(1) 按图2-4-1实验电路估算放大器的静态工作点(取 $\beta = \beta_2=100$)。

(2) 怎样把负反馈放大器改接成基本放大器?为什么要把 R_3 并联在输入和输出端?

(3) 估算基本放大器的 A_o 、 R_{i3} 和 R_{o3} , 估算负反馈放大器的 A 、 R_4 和 R_o , 并验算它们之间的关系。

(4) 如输入信号存在失真, 能否用负反馈来改善?

第三部分

数字电子技术实验

本部分由基本门电路实验、小系统设计、可编程逻辑电路实验等部分组成。本部分实验课程训练的目的在于使学生了解基本门电路的工作原理及常用电路组成，掌握基本的逻辑分析和设计方法，养成规范设计的工作习惯，以实验促进理论学习的同时强调实践能力的培养，要求学生在掌握基本的数字电路实验的基础上，能进行数字电路设计实验，掌握数字电路设计实验的一般设计方法。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/305220241313011131>