

118

# 模拟电子技术实验

石 冰 邹津海 主编



A0973860

湖南大学出版社

2002年·长沙

## 内 容 简 介

本书是按照原国家教育委员会颁布的高等工业学校“电子技术基础课程教学基本要求”编写而成的。全书共分4章：实验基础知识，基础验证性实验，综合设计性实验，常用电子仪器的使用。

本书既重基础知识，又重实践创新。基础验证性实验紧扣理论基础知识，综合设计性实验充分发挥实验者的创造性，其深度有高有低，以满足不同教学要求，利于因材施教，同时适应各种层次院校和不同专业的要求，可起到加强实践教学环节，巩固和加深学生的电子技术理论知识，提高学生综合能力，启发学生创新思维等作用。

本书可作为全国高等学校电气类、电子类、自动控制类等专业的实验教材，也可供从事电子技术的工程技术人员和广大电子技术爱好者参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

模拟电子技术实验/石冰, 邹津海主编. —长沙: 湖南大学出版社, 2002.2

ISBN 7-81053-445-9

I. 模... II. ①石...②邹... III. 模拟电路—实验—高等学校—教材 IV. TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 097863 号

## 模拟电子技术实验

Moni Dianzi Jishu Shiyan

石冰 邹津海 主编

---

□责任编辑 俞涛 陈瑾

□出版发行 湖南大学出版社

社址: 长沙市岳麓山 邮编: 410082

电话: 0731-8821691 0731-8821315

□经 销 湖南省新华书店

□印 装 湖南省地质测绘印刷厂

---

□开本 787×1092 16开 □印张 10.5 □字数 255千字

□版次 2002年2月第1版 □2002年2月第1次印刷

□印数 1—4 000册

□书号 ISBN 7-81053-445-9/TN·8

□定价 15.00元

---

(湖南大学版图书凡有印装差错, 请向承印厂调换)

## 前 言

随着社会和经济的发展,各行各业所需求的人才趋于技能型、应用型,因此,作为为社会输送人才的基地,各高校也将实验教学的改革进一步深化。为顺应这一形势,作者结合多年的教学实践,特编写此书。多年来,我们在电子技术课程的实验教学过程中,从实验室建设到实验教学方式等方面,摸索了一套具有自身特色的模式,我们希望能把一些经验和教学方法能通过本教材体现出来,使实验者提高操作能力、自学能力,以及分析和解决问题的能力。

全书共分4章。第1章是实验基础知识,使实验者对常用的电子器件有所认识,并知道电子测量的基本方法以及常见问题的排除、数据的处理方法,为下一步实验打下基础;第2章是基础验证性实验,共编入了14个实验,紧扣理论教学,验证理论的正确性,更重要的是作为学习的一个阶段,增强感性认识,体会抽象概念的实际含义,提高实验者的操作技能;第3章是综合设计性实验,它在第2章的基础上,共编入了6个设计性实验,实验者可根据实验要求,参阅书中所给的电路进行设计,也可进行全新的设计,充分调动自身的创造能力,打破陈规,勇于创新;第4章是常用电子仪器的使用,仅介绍了实验室常用的几种仪器,希望实验者通过阅读本章,能举一反三,学会多种电子仪器的使用方法。

本书由石冰、邹津海主编,石冰统稿。其中,邹津海编写第1章和第4章的第6,7节;刘晓春编写第4章的第1~5节;王敏编写第3章的第1节和第2节;周冰航编写第3章的第5,6节;石冰编写第2章和第3章的第3,4节;许文玉主审本书,并提出了许多宝贵意见,在此表示诚挚的谢意。同时,对实验中心全体同志所给予的支持表示感谢。

限于编者的水平,书中错误在所难免,恳请读者指正。

编 者

2001年12月

# 目 次

## 第 1 章 实验基础知识

第 1 节	常用元器件的型号与性能简介	( 1 )
第 2 节	选择和使用电子仪器应注意的几个问题	( 8 )
第 3 节	模拟电子电路的一般调试原则	( 10 )
第 4 节	模拟电子电路常见故障和排除方法	( 11 )
第 5 节	电子测量方法	( 14 )
第 6 节	测量误差与实验数据处理	( 18 )

## 第 2 章 基础验证性实验

第 1 节	用万用表检测元器件	( 24 )
第 2 节	单级放大电路	( 31 )
第 3 节	射极跟随器	( 37 )
第 4 节	场效应管放大器	( 41 )
第 5 节	两级阻容耦合放大电路	( 45 )
第 6 节	负反馈放大电路	( 48 )
第 7 节	差动放大器	( 52 )
第 8 节	集成运算放大器指标测试	( 57 )
第 9 节	集成运算放大器组成的基本运算电路	( 62 )
第 10 节	波形发生器	( 68 )
第 11 节	有源滤波器	( 71 )
第 12 节	OTL 功率放大电路	( 76 )
第 13 节	RC 正弦波振荡器	( 81 )
第 14 节	直流稳压电源	( 83 )

## 第 3 章 综合设计性实验

第 1 节	场效应管源极跟随器设计	( 89 )
第 2 节	差动放大器设计	( 94 )
第 3 节	函数发生器设计	( 101 )
第 4 节	集成直流稳压电源设计	( 107 )
第 5 节	万用表设计	( 113 )

第 6 节 OCL 音频放大器设计 .....	(116)
-------------------------	-------

#### 第 4 章 常用电子仪器的使用

第 1 节 CA8120 双踪示波器 .....	(134)
第 2 节 EM—1643 函数发生器 .....	(140)
第 3 节 JW—3 直流稳压电源 .....	(143)
第 4 节 DF1733 三路稳压电源 .....	(145)
第 5 节 YB2100 系列交流毫伏表 .....	(148)
第 6 节 YB2172 型交流毫伏表 .....	(150)
第 7 节 MF—10 型万用表 .....	(152)
<b>参考文献</b> .....	<b>(158)</b>

# 第 1 章 实验基础知识

## 第 1 节 常用元器件的型号与性能简介

### 一、电阻器

#### 1. 额定功率

共分 19 个等级，其中常用的有  $\frac{1}{20}$  W,  $\frac{1}{8}$  W,  $\frac{1}{4}$  W,  $\frac{1}{2}$  W, 1W, 2W, 4W, 5W。

#### 2. 容许误差等级

见表 1.1。

表 1.1 电阻误差等级

容许误差	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$
等 级	005	01	I	II	III

#### 3. 标称阻值系列

见表 1.2。

表 1.2 标称阻值系列

容许误差	系列代号	标 称 系 列 值																							
$\pm 20\%$	E6	10	15	22	33	47	68																		
$\pm 10\%$	E12	10	12	15	18	22	27	33	39	47	56	68	82												
$\pm 5\%$	E24	10	11	12	13	15	16	18	20	22	24	27	30	33	36	39	43	47	51	56	62	68	75	82	91

任何固定式电阻器的标称值应符合表列数值乘以  $10^n$ 。其中， $n$  为整数。

电阻器的阻值和误差，一般都用数字标印在电阻器上。例如，若电阻器上标有下列字母和数字：

$$RJ \times 1 - 0.125 - 5.1K III,$$

则这是金属膜小型电阻器，额定功率为

$\frac{1}{8}$  W，标称值为 5.1 k $\Omega$ ，容许误差为

20%。实验中常使用体积很小的实芯电阻器，其阻值和误差常以色环来表示，如图

1.1 所示。靠近电阻器的一端有 4 道色环，

第 1, 2 两道色环分别表示第 1 位、第 2 位

有效数字，第 3 道色环表示“0”的个数，第 4 道色环表示误差等级（见表 1.3）。

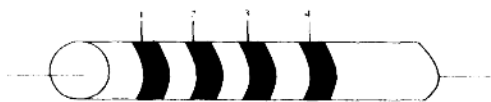


图 1.1 色环表示法

表 1.3 色环所代表的数字

	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	金	银	本色
对应数字	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
误差											±5%	±10%	±20%

## 二、电容器

### 1. 电容器的耐压

常用固定式电容器的直流工作电压系列为 6.3 V, 10 V, 16 V, 25 V, 40 V, 63 V, 100 V, 160 V, 250 V, 400 V。

### 2. 容许误差等级

见表 1.4。

表 1.4 电容误差等级

容许误差	-2% ~ +2%	-5% ~ +5%	-10% ~ +10%	-20% ~ +20%	-30% ~ +20%	-20% ~ +5%	-10% ~ +10%
级别	02	I	II	III	IV	V	VI

### 3. 固定电容器的标称容量系列

见表 1.5。

表 1.5 标称容量系列

名称	容许误差	容量范围	标称容量系列
纸介电容器	-5% ~ +5%	$1 \times 10^{-9} \sim 1 \mu\text{F}$	1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8
金属化纸介电容器	-10% ~ +10%		
纸膜复合介质电容器	-20% ~ +20%	1 ~ 100 $\mu\text{F}$	1, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 30, 50, 60, 80, 100
低频(有级性)有机薄膜介质电容器			
高频(无极性)有机薄膜膜介质电容器	-5% ~ +5%		
瓷介电容器	-10% ~ +10%		
玻璃釉电容器	-20% ~ +20%		E6
云母电容器	-20% ~ +20%		E6
铝、钽、铌电解电容器	-10% ~ +10%		1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8 (容量单位为 $\mu\text{F}$ )
	-20% ~ +20%		
	-20% ~ +50%		
	-10% ~ +10%		

标称电容量为表中数值或表中数值乘以  $10^n$ 。其中,  $n$  为正整数或负整数。

电容器容量常按下列规则标印在电容器上:

- (1) 小于 10 pF 的电容, 数值和单位要一起标明, 例如 5.1 pF 等。
- (2) 10 ~ 10000 pF 之间的电容, 一般只标明数值而省略单位。例如, 330 表示 330 pF, 6800 表示 6800 pF。

(3) 10000 ~ 1000000 pF 之间的电容, 采用  $\mu\text{F}$  为单位 (往往也省略), 它以小数标印,

或以 10 再乘以  $10^n$  标印。例如, 0.033 表示  $0.033\mu\text{F}$ , 104 表示  $10 \times 10^4 \text{ pF} = 0.1\mu\text{F}$ ,  $3n9$  表示  $3.9 \times 10^{-9} \text{ F}$ , 即  $3900 \text{ pF}$ 。

(4) 电解电容器总是以  $\mu\text{F}$  为单位标印。

### 三、半导体器件

见表 1.6~1.13。

表 1.6 国产普通晶体管命名方法

第 1 部分		第 2 部分		第 3 部分		第 4 部分	第 5 部分
用数字表示器件的电极数目		用汉语拼音字母表示器件的材料和极性		用汉语拼音字母表示器件的类别		用数字表示器件序号	用汉语拼音字母表示规格号
符号	意义	符号	意义	符号	意义		
2	二极管	A	N 型锗材料	P	普通管		
		B	P 型锗材料	W	稳压管		
		C	N 型硅材料	Z	整流管		
		D	P 型硅材料	L	整流堆		
				S	隧道管		
3	三极管	A	PNP 型锗材料	K	开关管		
		B	NPN 型锗材料	X	低频小功率管		
		C	PNP 型硅材料		$(f_n < 3\text{MHz}, P_c < 1\text{W})$		
		D	NPN 型硅材料	G	高频小功率管		
		E	化合物材料		$(f_n \geq 3\text{MHz}, P_c < 1\text{W})$		
				D	低频大功率管		
					$(f_n < 3\text{MHz}, P_c \geq 1\text{W})$		
				A	高频大功率管		
					$(f_n \geq 3\text{MHz}, P_c \geq 1\text{W})$		

表 1.7 2CP21~2CP24 硅二极管主要参数

型 号	额定整流电流 /A	最高反向峰值电压 /V	正向电压降 /V	反向漏电流 (平均值) / $\mu\text{A}$
2CP21	0.30	100	< 1.0	< 5 (25°C)
2CP22		200		
2CP23		300		
2CP24		400		

表 1.8 2DW7 和 2DW8 硅稳压二极管主要参数

原型号	新型号	最大耗散功率 /W	最大工作电流 /mA	稳定电压 /V	动态电阻		反向漏电流 / $\mu\text{A}$	电压温度系数 / $(10^{-6} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$
					R / $\Omega$	I /mA		
2DW7A	2DW230	0.2	30	5.8~6.0	$\leq 25$	10	$\leq 1$	$\leq  50 $
2DW7B	2DW231	0.2	30	5.8~6.0	$\leq 15$	10	$\leq 1$	$\leq  50 $
2DW7C	2DW232	0.2	30	6.0~6.5	$\leq 10$	10	$\leq 1$	$\leq  50 $
2DW8A		0.2	30	5~6	$\leq 25$	10	$\leq 1$	$\leq  8 $
2DW8B		0.2	30	5~6	$\leq 15$	10	$\leq 1$	$\leq  8 $
2DW8C		0.2	30	5~6	$\leq 5$	10	$\leq 1$	$\leq  8 $



表 1.9 2CW11 和 2CW20 硅稳压二极管参数

原型号	新型号	最大耗散功率/W	最大工作电流/ $\mu\text{mA}$	稳定电压/V	动态电阻		反向漏电流/ $\mu\text{A}$	电压温度系数/ $(10^{-2}\cdot^{\circ}\text{C})$
					$R/\Omega$	$I/\text{mA}$		
2CW11	2CW52	0.25	55	3.2~4.5	$\leq 70$	10	$\leq 2$	$\leq -8$
2CW20	2CW62	0.25	14	13.5~17	$\leq 60$	3	$\leq 0.5$	$\leq 9.5$

表 1.10 3DG6 型 NPN 硅高频小功率管

原型号		3DG6				测试条件
新型号		3DG100A	3DG100B	3DG100C	3DG100D	
极限参数	$P_{CM}/\text{mW}$	100	100	100	100	
	$I_{CM}/\text{mA}$	20	20	20	20	
	$U_{(BR)CEO}/\text{V}$	$\geq 30$	$\geq 40$	$\geq 30$	$\geq 40$	$I_C = 100\mu\text{A}$
	$U_{(BR)CEO}/\text{V}$	$\geq 20$	$\geq 30$	$\geq 20$	$\geq 30$	$I_C = 100\mu\text{A}$
	$U_{(BR)EBO}/\text{V}$	$\geq 4$	$\geq 4$	$\geq 4$	$\geq 4$	$I_B = 100\mu\text{A}$
直流参数	$I_{CEO}/\mu\text{A}$	$\leq 0.01$	$\leq 0.01$	$\leq 0.01$	$\leq 0.01$	$U_{CE} = 10\text{V}$
	$I_{CBO}/\mu\text{A}$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$U_{CE} = 10\text{V}$
	$I_{EB0}/\mu\text{A}$	$\leq 0.01$	$\leq 0.01$	$\leq 0.01$	$\leq 0.01$	$U_{EB} = 1.5\text{V}$
	$U_{CES}/\text{V}$	$\leq 1$	$\leq 1$	$\leq 1$	$\leq 1$	$I_C = 10\text{mA}, I_B = 1\text{mA}$
	$U_{CES}/\text{V}$	$\leq 1$	$\leq 1$	$\leq 1$	$\leq 1$	$I_C = 10\text{mA}, I_B = 1\text{mA}$
	$h_{FE}$	$\geq 30$	$\geq 30$	$\geq 30$	$\geq 30$	$U_{CE} = 10\text{V}, I_C = 3\text{mA}$
交流参数	$f_T/\text{MHz}$	$\geq 150$	$\geq 150$	$\geq 300$	$\geq 300$	$U_{CE} = 10\text{V}, I_E = 3\text{mA}, f = 100\text{MHz}, R_L = 5\Omega$
	$A_V/\text{dB}$	$\geq 7$	$\geq 7$	$\geq 7$	$\geq 7$	$U_{CE} = 10\text{V}, I_E = 3\text{mA}, f = 100\text{MHz}$
	$C_u/\text{pF}$	$\leq 4$	$\leq 4$	$\leq 4$	$\leq 4$	$U_{CE} = 10\text{V}, I_E = 0\text{mA}$
$h_{FE}$ 色标分档		30~60(红), 50~110(绿), 90~160(蓝), >150(白)				

表 1.11 3AX31 型 PNP 硅低频小功率三极管参数

原型号		3AX31				测试条件
新型号		3AX51A	3AX51B	3AX51C	3AX51D	
极限参数	$P_{CM}/\text{mW}$	100	100	100	100	$t_a = 25^{\circ}\text{C}$
	$I_{CM}/\text{mA}$	100	100	100	100	
	$t_{JM}/^{\circ}\text{C}$	75	75	75	75	
	$U_{(BR)C}/\text{V}$	$\geq 30$	$\geq 30$	$\geq 30$	$\geq 30$	$I_C = 1\text{mA}$
	$U_{(BR)E}/\text{V}$	$\geq 12$	$\geq 12$	$\geq 18$	$\geq 24$	$I_C = 1\text{mA}$
直流参数	$I_{CEO}/\mu\text{A}$	$\leq 12$	$\leq 12$	$\leq 12$	$\leq 12$	$U_{CE} = -10\text{V}$
	$I_{CBO}/\mu\text{A}$	$\leq 500$	$\leq 500$	$\leq 300$	$\leq 300$	$U_{CE} = -6\text{V}$
	$I_{EB0}/\mu\text{A}$	$\leq 12$	$\leq 12$	$\leq 12$	$\leq 12$	$U_{EB} = -6\text{V}$
	$h_{FE}$	40~150	40~150	30~100	25~70	$U_{CE} = -1\text{V}, I_C = 50\text{mA}$

续表 1.11

原型号		3AX31				测试条件
新型号		3AX51A	3AX51B	3AX51C	3AX51D	
交流参数	$f_h/\text{kHz}$	$\geq 500$	$\geq 500$	$\geq 500$	$\geq 500$	$U_{CE} = -6\text{V}, I_B = 1\text{mA}$
	$N_F/\text{dB}$	—	$\leq 8$	—	—	$U_{CE} = -2\text{V}, I_E = 0.5\text{mA}, f = 1\text{kHz}$
	$h_{ie}/\text{k}\Omega$	0.6~4.5	0.6~4.5	0.6~4.5	0.6~4.5	$U_{CE} = -6\text{V}, I_E = 1\text{mA}, f = 1\text{kHz}$
	$h_{re}/10^{-3}$	$\leq 2.2$	$\leq 2.2$	$\leq 2.2$	$\leq 2.2$	
	$h_{ie}/\mu\text{S}$	$\leq 80$	$\leq 80$	$\leq 80$	$\leq 80$	
	$h_{fe}$	—	—	—	—	
$h_{FE}$ 色标分档		25~60 (红), 50~100 (绿), 90~150 (蓝)				

表 1.12 3CG21 型 PNP 硅高频小功率管参数

型号		3CG21A	3CG21B	3CG21C	3CG21D	3CG21E	3CG21F	测试条件
极限参数	$P_{CM}/\text{mW}$	300	300	300	300	300	300	
	$I_{CM}/\text{mA}$	50	50	50	50	50	50	
	$U_{(BR)CO}/\text{V}$	$\geq 20$	$\geq 30$	$\geq 50$	$\geq 55$	$\geq 80$	$\geq 85$	
	$U_{(BR)EO}/\text{V}$	$\geq 15$	$\geq 25$	$\geq 40$	$\geq 55$	$\geq 70$	$\geq 85$	
直流参数	$U_{(BR)EB}/\text{V}$	$\geq 4$					$I_{EB} = 100\mu\text{A}$	
	$I_{CB}/\mu\text{A}$	$\leq 0.5$					$U_{CB} = 10\text{V}$	
	$I_{EB}/\mu\text{A}$	$\leq 1$					$U_{EB} = 10\text{V}$	
	$U_{CES}/\text{V}$	$\leq 1$						
	$U_{CES}/\text{V}$	$\leq 0.5$					$I_B = 3\text{mA}, I_C = 30\text{mA}$	
$h_{FE}$	40~200					$U_{CE} = 6\text{V}, I_C = 300\text{mA}$		
交流参数	$f_T/\text{MHz}$	$\geq 100$						
	$C_{cb}/\text{pF}$	$\leq 10$						

表 1.13 3DG12 型 NPN 硅高频小功率管参数

原型号		3DG12				测试条件
新型号		3DG130A	3DG130B	3DG130C	3DG130D	
极限参数	$P_{CM}/\text{mW}$	700	700	700	700	$I_C = 100\mu\text{A}$ $I_C = 100\mu\text{A}$ $I_E = 100\mu\text{A}$
	$I_{CM}/\text{mA}$	300	300	300	300	
	$U_{(BR)CO}/\text{V}$	$\geq 40$	$\geq 60$	$\geq 40$	$\geq 60$	
	$V_{(BR)CO}/\text{V}$	$\geq 30$	$\geq 45$	$\geq 30$	$\geq 45$	
	$U_{(BR)E}/\text{V}$	$\geq 4$				

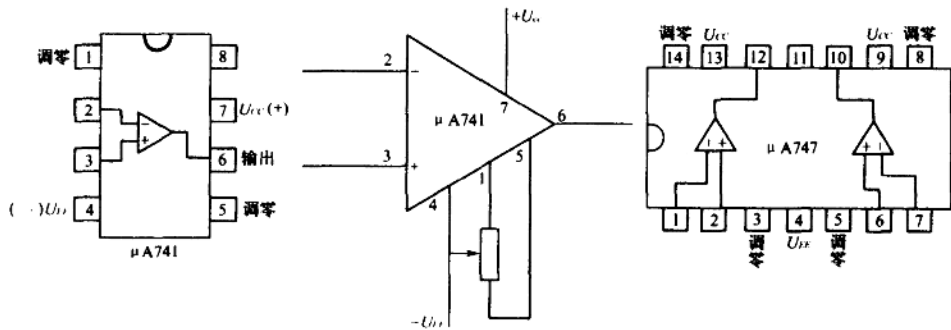
续表 1.13

原型号		3DG12				测试条件
新型号		3DG130A	3DG130B	3DG130C	3DG130D	
直流参数	$I_{CBO}/\mu A$	$\leq 0.5$				$U_{CE} = 10V$
	$I_{CEO}/\mu A$	$\leq 1$				$U_{CE} = 10V$
	$I_{EBU}/\mu A$	$\leq 0.5$				$U_{EB} = 1.5V$
	$U_{CES}/V$	$\leq 1$				$I_C = 100mA, I_B = 10mA$
	$U_{CES}/V$	$\leq 0.6$				$I_C = 100mA, I_B = 100mA$
	$h_{FE}$	$\geq 30$				$U_{CE} = 10V, I_C = 50mA$
交流参数	$f_T/MHz$	$\geq 150$	$\geq 150$	$\geq 300$	$\geq 300$	$U_{CE} = 10V, I_E = 50mA, f = 100MHz, R_L = 5\Omega$
	$k_p/dB$	$\geq 6$	$\geq 6$	$\geq 6$	$\geq 6$	$U_{CE} = 10V, I_E = 50mA, f = 100MHz$
	$C_{ob}/pF$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 10$	$U_{CE} = 10V, I_E = 0$
$h_{FE}$ 色标分档		30~60(红), 50~110(绿), 90~160(蓝), >150(白)				

## 四、模拟集成电路引脚排列及参数规范

1. 运算放大器  $\mu A741$  ( $\mu A747, F007, 5G24$ )

(1) 引脚排列图: 见图 1.2。

图 1.2  $\mu A741$  和  $\mu A747$  管脚排列图

(2) 参数规范: 见表 1.14。

表 1.14  $\mu A741$  的典型参数

参数名称	参数值	参数名称	参数值
输入失调电压	1~5mV	输出电阻	75 $\Omega$
输入失调电流	10~20mA	转换速率	0.5V/ $\mu s$
输入偏置电流	80nA	输出电压峰值	$\pm 13V$
输入电阻	2M $\Omega$	输出电流峰值	$\pm 20mA$
输入电容	1.5pF	共模输入电压	$\pm 13V$
开环差动电压增益	100dB	差模输入电压	$\pm 30V$
共模抑制比	90dB	应用频率	10kHz

## 2. 模拟乘法器 LM1596/LM1496 (MC1496)

(1) 外引脚排列图: 见图 1.3。

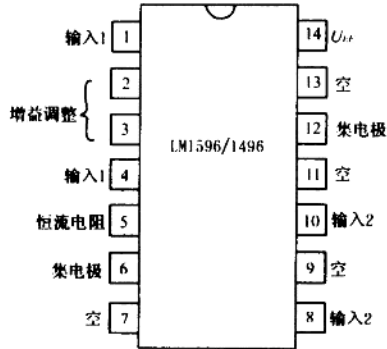


图 1.3 LM1596/LM1496 (或 MC1496) 外引线排列图

(2) 参数规范: 见表 1.15。

表 1.15 LM1596/LM1496 主要参数

参数名称/单位		测试条件	LM1596	LM1496
载波馈入 (载漏)	$\mu\text{V}$	$U_c = 60\text{mV}$ (正弦) $f_c = 1\text{kHz}$ $f_c = 10\text{MHz}$	40 140	40 140
	$\text{mV}$	$U_c = 300\text{mV}$ (方波) $f_c = 1\text{kHz}$ $f_c = 10\text{MHz}$	0.04 20	0.04 20
载波抑制/dB		$f_s = 10\text{kHz}$ , $300\text{mV}$ , $f_c = 500\text{kHz}$ , $60\text{mV}$ 正弦	65	65
带宽/MHz		$R_L = 50\Omega$	80	80
信号通道电压增益 $V/V$		$U_s = 100\text{mV}$ , $f = 1.0\text{kHz}$ , $U_{10} - U_R = 0.5\text{V}$	3.5	3.5
输入阻抗/ $\text{k}\Omega$			200	200
输入电容/ $\text{pF}$			2.0	2.0
信号通道输出电阻/ $\text{k}\Omega$			40	40
信号通道输出电容/ $\text{pF}$			5	5
共模输入电压范围/ $\text{V}$			8	8
共模抑制比/dB			-85	-85
功耗/ $\text{mW}$			33	33

## 第2节 选择和使用电子仪器应注意的几个问题

### 一、正确选用电子测量仪器

在模拟电子技术基础实验中，经常要测量电信号的各种参量和各种元器件的参数，而其中最基本的测量是电压的测量。电子电路中的电压有四个特点：一是波形种类多；二是频率范围宽；三是幅度变化范围大；四是被测电压两点之间电路的阻抗大。但是，每一台电子仪器都有一定的技术指标，所以，只有在技术指标允许的范围内工作，测试结果才准确、有效。为此，选择测量仪器要注意以下几个方面。

#### 1. 被测信号的波形与仪器工作的波形应一致

如 MF—10 型万用表的交流电压档和 YB—2172 交流毫伏表，工作波形均为正弦波，显示的是有效值，不能用来测非正弦波。而示波器却能适用于各种波形的测量。

#### 2. 被测信号的频率应在仪器允许的频率范围以内

如 MF—10 型万用表交流档所允许的频率范围为 45~1500Hz，YB—2172 交流毫伏表为 0.025~200kHz，若为大于 10kHz 的正弦电压，则只能选 YB—2172 交流毫伏表来测量。

#### 3. 被测信号的大小在仪器的量程范围以内，并尽可能选择在接近满量程处读数

若信号为约 0.2V 的正弦电压（有效值），则只能用 YB—2172 交流毫伏表的 300mV 档测量，而用 MF—10 型万用表交流电压档无法测量（其最小量程为 10V）。

#### 4. 仪器的输入阻抗要远大于被测电压两点之间电路的阻抗

如有一个有效值约 8V、频率为 1000Hz 的正弦电压，其被测电压两点之间电路的等效阻抗为 100kΩ。若从波形、频率、量程考虑，用 MF—10 型万用表的交流电压档 10V 量程测量是合适的，但从输入阻抗考虑却行不通，因为仪表的输入阻抗为  $(20\text{k}\Omega/\text{V}) \times 10\text{V} = 200\text{k}\Omega$ ，它只有被测电路等效阻抗的两倍。接入被测电路后，由于测量仪表的分流作用，测量结果会大大偏低，没有意义。

#### 5. 测量精度要满足要求

若测量正弦电压有效值，则应优先选用交流毫伏表，测量误差小。正弦电压也可用示波器测量峰—峰值，然后除以  $2\sqrt{2}$ ，换算为有效值，但测量误差太大，一般不采用。

### 二、正确选择测量方法

#### 1. 采用“共地”的电压测量法

对电子电路进行静态或动态电压测量时，凡使用地端接机壳的电子仪器进行测量，都应选择测量仪器的接地端（机壳）与被测电子电路的接地端相连的测量方法（即所谓“共地”电压测量法）。若被测电压两端无接地端，则应分别测量其两端对地的电位，然后相减得出测量结果。否则，仪器机壳引入的干扰不仅会使被测电子电路工作状态发生变化，而且会增加测量仪器接入后的负载效应，从而增加测量误差。万用表两输入端虽是浮地的（即不接机壳），但为了消除上述影响，也应采用一端接地的测量方法。

## 2. 采用间接电流测量法

对电子电路，一般不直接用电流表测量静态或动态电流，而采用“共地”电压测量法分别测量已知电阻两端对地的电位，然后相减得到已知电阻两端的电压，再除以已知电阻换算为电流，此即所谓的“间接电流测量法”。这种方法的优点是方便，不需要改动被测电路。

## 三、电子仪器的接地问题

接地是抑制噪声和防止干扰的主要方法。由于接地导线都具有一定的阻抗，所以，两个不同的接地点很难达到等电位。理想的接地应使流经地线的各电路的电流互不影响。

在低频电子电路中，对于电子仪器的接地，应注意以下问题：

(1) 电子仪器的机壳应接地良好。比较安全的办法是仪器的电源采用三孔插头座（若不是三孔插座，则应用专线将仪器机壳接地），中间的插孔应与实验室的地线相连接，并尽可能做到实验室地线与电网中性线分开，以免产生干扰。

机壳未接地的仪器，不仅不安全，还会产生干扰。在使用仪器过程中，要特别注意并避免三孔插头座接触不良使仪器机壳未接地的现象。

(2) 在低频电路中，如有几台仪器或几个电路同时工作，其信号地线（即信号电路的地线或有信号电流流过的地线）应采用“独立地线并联一点接地方式”，如图 1.4 所示。对于这种接地方式，各电路的地电位只与本电路的地电流及地线阻抗有关，不受其他电路影响，可避免各电路之间的噪声耦合和相互干扰。

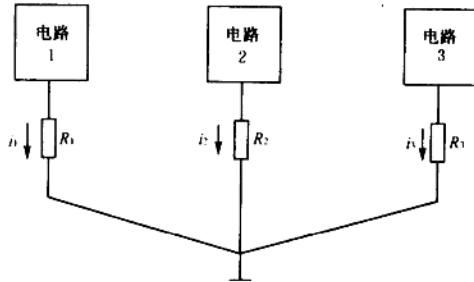


图 1.4 独立地线并联一点接地方式

(3) 信号源采用浮地对称输出方式。在调试多级放大器时，为了消除地电位差的影响，减小共模干扰电压，抑制噪声，可将放大器一端接地，信号源采用浮地（不接地）对称输出，但信号源的输出线要采用有金属外套的二芯屏蔽线，且金属外套两端要接地。

(4) 选择多级电路的低电平级电路输入端接地。在电子电路中，低电平级电路是受干扰的电路，选择低电平电路的输入端接地，可减小噪声干扰。

(5) 信号源的输出线和各种测量仪器的输入线，都要采用有金属外套的屏蔽线并尽可能缩短长度。使用时，应将金属外套两端接地，以减少干扰。

(6) 信号源的输出线和各种测量仪器的输入线，都要采用有金属外套的屏蔽线并尽可能缩短长度。使用时，应将金属外套两端接地，以减少干扰。

## 四、使用电子仪器的一般注意事项

(1) 使用前，仔细阅读有关仪器的介绍，了解仪器的功能、主要技术指标、面板各旋钮的作用、工作原理、使用方法及注意事项，切勿盲目乱用。

(2) 接通电源前，应检查仪器的量程、功能、频段、衰减、增益、极性、极性等旋钮及开关是否置于准备工作状态位置。

(3) 使用前要注意对电子测量仪器进行机械调零和电气调零。

(4) 注意安全操作。

## 第3节 模拟电子电路的一般调试原则

### 一、调试的必要性

实验电路插接组装好之后，将电路接通电源，电路的功能并不一定实现。这是因为在设计时，对各种客观因素如元器件性能的分散性、电路中寄生参数的影响、交流 50Hz 的干扰以及组装电路的错误等难以预测，因而会出现一些预想不到的结果。为此，必须经过实验调整、补偿、纠正设计和组装中的不足，使之最后达到设计要求。所谓调试，就是测量—判断—调整—再测量的反复过程，该过程一直进行到电路能完全达到设计要求为止。

### 二、调试的一般步骤

调试一般分为两步：首先是分调，即按信号的流向由前往后，逐级调整各单元电路的参数，排除各单元电路内部的故障和异常现象；第二步是在分调的基础上联调，即将各单元电路按先后顺序级联，逐级观察各衔接点的工作情况，通过调整补偿参数，以排除故障，使整体电路基本符合设计要求。

### 三、调试的一般原则

电子电路的一个重要特点是交、直流并存。直流是电路正常工作的基础，因此，不论是分调还是联调，都应遵守先静态、后动态的调试原则。

对于具体电路出现的各种异常现象，需要我们应用电路理论、电子技术基础知识进行分析、判断，确定修正方案。因此，调试的根本途径是在理论指导下进行，不要盲目进行。下面以图 1.5 所示的共射共集放大器为例来说明调试方法。

#### 1. 静态调试

所谓静态，指的是输入信号  $U_i = 0$  时，电路的直流工作状态。为了防止外界干扰信号的侵入，输入端交流对地要短路。

静态工作点应设置在交流负载线的中点，这样可以最大限度地发挥管子的放大能力和获得最大不失真输出。但在多级放大器中，由于前级的输入信号小，后级的输入信号大，因此，从减小功耗和降低管子内部噪声出发，前级的静态工作点在保证不失真的前提下可以适当降低，后级的静态工作点一般都设置在交流负载线的中点，以保证动态范围最大。

在 RC 耦合的放大器中，各级的静态工作点是独立的，前后级工作点互不影响，各级的静态工作点由各级的直流通路元器件的参数决定。在晶体管、电源电压及负载一定的条件

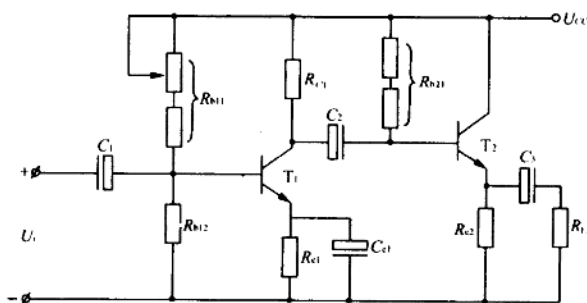


图 1.5 共射共集放大器

下,静态工作点由偏流电阻  $R_b$  决定。实验中,一般通过调整偏流电阻  $R_{b11}$  和  $R_{b21}$  来改变各级的静态工作点。

若将静态工作点设置在交流负载线的中点,则静态工作点可按下式估算:

$$\begin{cases} U_{CE} = I_C R_L' - U_{ces}, \\ U_{CE} = U_{CC} - I_C (R_C + R_e)。 \end{cases}$$

式中:  $R_L'$  为交流等效负载电阻;  $U_{ces}$  为晶体管的饱和压降,一般取  $1V$ 。

由上述公式求解的  $U_{CE}$  和  $I_C$  值,即为静态工作点的估算值。在电路中,只要调整偏流电阻  $R_{b11}$  或  $R_{b21}$ ,使电路中的  $U_{CE}$  和  $I_C$  达到上述数值即可。

## 2. 动态调试

动态调试是在静态调试的基础上进行的。在电路的输入端接入合适的信号电压,采用信号跟踪法,由示波器监视,沿着信号的传输方向,逐级检查有关点的波形、参数及性能指标。必要时,先进行单级动态调试,然后再级联观察电路工作是否正常,这样可以缩小故障范围。

在动态调试时要注意两点:

一是放大器前后级的相互影响。前级是后级的信号源,后级是前级的负载,两级之间通过输出电阻和输入电阻互相影响,互相牵制。为了减少前、后级的相互影响,后级的输入电阻应大于前级的输出电阻。

二是由于分布参数的影响,容易产生自激。为此,必须采取补偿措施,破坏振荡条件,消除振荡。

需要指出的是:在进行动态调试时,灵活、适当地改变工作点也是必要的。静态工作点过高或过低,会产生饱和失真和截止失真现象。因此,在负载不变的条件下,通过适当改变静态工作点,可使输出波形不失真。

上述调试原则也适用于对集成电路的调试。

# 第 4 节 模拟电子电路常见故障和排除方法

## 一、寻找故障的方法

### 1. 直接观察法

直接观察待调电路表面现象来发现问题,分析和寻找故障。如:

- (1) 观察电路供电情况:电源电压的极性和数值是否符合要求,是否确实插入电路。
- (2) 观察仪器使用情况:仪器的功能、量程的选用有无错误,共地连接的处理是否妥当。
- (3) 观察元器件插接组装情况:元器件是否插牢,管脚是否漏接、错接。
- (4) 接通电源后,观察电路元器件有无发烫、冒烟等现象。



## 2. 静态测试法

用直流电压表检查电路的静态工作点是否正常，并应用理论知识分析、寻找故障的部位。

## 3. 信号跟踪法

在被调电路的输入端输入适当幅度和频率的信号，按信号的流向，由前级到后级用示波器逐级观察电压的波形及幅值变化情况，以确定故障点。这种方法对各种电路普遍适用，在动态调试中广泛应用。

## 4. 替代法

用好的元器件或已调好的单元电路去替代有故障或有故障嫌疑的元器件或单元电路，以寻找故障部位或故障元器件。

## 5. 补偿法

当有寄生振荡时，可用适当容量的电容器，在电路各个合适部位通过电容对地短路，观察寄生振荡是否消失。

实际测试时，寻找故障的方法很多，上述方法是最基本和最常用的。

## 二、常见故障和排除方法

### 1. 测试设备引起的故障

有的是测试设备本身有故障，或测试线开路或短路，使之无法测试或将被测电路造成短路；有的是操作者对仪器使用不正确而引起故障。排除此类故障的方法是：操作者必须熟悉仪器的性能，调试前正确地检查、校验测量仪器，熟悉仪器的使用方法。

### 2. 电路中元器件引起的故障

如电阻、电容、晶体管和集成电路损坏或性能不良。这种故障造成的现象是电路有输入而无输出或输出不正常。

排除和避免这类故障的方法是：插接组装电路时，将全部元器件检测一次，即普遍筛选一次。调试时，参考前面“寻找故障的方法”找出被损坏或性能不良的元器件，并进行代换。

### 3. 人为引起的故障

如：操作者在插接组装实验电路时，错接或漏接了元器件，错接或漏接了连线，从而使电路不能完全正常工作。

为排除和避免这类故障，要求操作者必须认真预习，在实验时思想集中，态度严谨。调试时，参考前面“寻找故障的方法”，找出故障点并予以排除。

### 4. 电路连线接触不良引起的故障

如插接点接触不牢靠、电位器滑动端接触不良、接地不良、连接线开路（或似断非断）等。由此类原因引起的故障一般是间断式的，即电路工作时好时坏，或突然停止工作。

排除这类故障的方法：一是直接观察，查线，将怀疑点用手按、拨一下。这种方法有时很快就能见效。二是使用“静态测试法”或“信号跟踪法”，寻找故障点，予以排除。

### 5. 各种干扰引起的故障

所谓干扰，是指外界因素对电路有用信号产生的扰动。干扰源种类很多，常见的有以下几种：

(1) 接地处理不当引起的干扰。接地方法不妥、接地点选择不当或接地点阻抗太大，电