

普通高等院校“十一五”规划教材

电气技术实验教程

DIANQI JISHU

SHIYAN JIAOCHENG

主编 刘永科

编著 魏宏源 赵文忠 刘春元 李佳奇



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等院校“十一五”规划

电气技术实验教程

主编 刘永科
编著 魏宏源 赵文忠
刘春元 李佳奇

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书按照基础课实验的教学体系安排架构,遵从实践教学和学生技能培养的基本规律,注重教学内容的基础性、系统性和完整性,系统地介绍了模拟电子技术、数字电子技术、电力电子技术、信号与系统、电力系统继电保护等几门课的实验内容,以及实验的基本知识、仪器使用和实验平台应用技术,便于科学、系统地培养学生的工程实践能力和实验技巧。

本书可作为高等院校电气类、电子类、自动化等相关专业本科生、专科生的电子技术基础、电力电子、信号与系统、电力系统继电保护课程的实验教材,也可供从事电气技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气技术实验教程/刘永科主编. —北京:国防工业出版社,2011.1

普通高等院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-118-07105-4

I. ①电... II. ①刘... III. ①电气设备—实验—高等学校—教材 IV. ①TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 213525 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 20 字数 476 千字

2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 30.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前言

实验作为教学的一个重要组成部分有其特殊的意义,尤其对于以应用人才为培养目标,并且其相关课程都是课程实验性很强的电气信息类专业,更是具有独特的重要意义。教学中,实验是对课堂所学知识的直观认识,是自然规律的直接体现;在科学研究、科学探索中,是理论验证和基本数据的来源,是高校中科研工作人员必不可少的研究环节。因此,实验在教学和科研中具有不可替代的重要地位,可以说实验课程是电气信息类专业人才培养体系的主要组成部分,是教学内容改革的重点,是提高教学质量与水平的关键。

本书注重对学生基本实验技能的训练,注重实验的基本原理、基本方法的学习和仪器设备的使用。通过实验课程培养学生理论联系实际的能力;分析、判断并排除故障的能力;正确使用仪器设备完成测试及分析的能力;独立设计并安装调试电路的能力;分析问题、解决问题的工程实践能力;分析整理数据、拟定实验报告的能力。

目前市场上有关电气工程及其自动化专业的某一门课程的实验教材较多,结合电气工程及其自动化专业的综合性的实验教材较少;讲基本实验原理的教材多,针对具体的实验平台的实验教材少。本书具有以下的特点:

(1) 实现理论教学和实验教学的有效对接。根据教育部电气工程及其自动化专业规范和教学大纲的要求,结合“模拟电子技术基础”、“数字电子技术基础”、“电力电子技术”、“信号与系统”、“电力系统继电保护”五门课程,精选了若干核心实验,作为本书的内容,实现了理论教学和实验教学的有效对接。

(2) 实现实验内容和实验设备的完美结合。本书根据目前国内大专院校、职业技术学校普遍使用的浙江天煌公司生产的 DZX-1 型电子学综合实验装置、DJDK-1 电力电子技术及电机控制实验装置、THBCC-1 型信号与系统实验装置、THKDZB-1 型继电保护实验装置而编写,具有极强的针对性。

本书编委会成员由河西学院刘永科、魏宏源、赵文忠、刘春元、李佳奇组成。第1章由魏宏源编写,第2章由李佳奇编写,第3章由刘春元编写,第4章由赵文忠编写,第5章由刘永科编写。全书由刘永科统稿,赵文忠对全书进行了校订。

本书在编写过程中得到了河西学院教务处、河西学院机电工程系同仁的大力支持和帮助,并得到了兰州理工大学赵付青博士的鼎力支持和指导,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,时间仓促,不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者
2010年7月

目 录

第一篇 电子技术实验

第 1 章 模拟电子技术	1
1.1 常用电子仪器的使用	1
1.2 单级放大电路静态参数测试	4
1.3 单极放大电路动态参数测试	7
1.4 射极跟随器	10
1.5 差动放大器	13
1.6 电压串联负反馈放大电路	16
1.7 电压并联负反馈放大电路	17
1.8 集成运算放大器基本运算电路	19
1.9 集成运算比较器	22
1.10 RC 正弦波振荡器	25
1.11 集成运算放大器波形产生电路	27
1.12 OTL 功率放大器	30
1.13 示波器原理及使用	33
第 2 章 数字电子技术实验	40
2.1 TTL 集成逻辑门的逻辑功能与参数测试	40
2.2 CMOS 集成逻辑门的逻辑功能与参数测试	44
2.3 集成逻辑电路的连接和驱动	46
2.4 组合逻辑电路的设计与测试	49
2.5 译码器及其应用	51
2.6 数据选择器及其应用	55
2.7 触发器及其应用	59
2.8 计数器及其应用	64
2.9 移位寄存器及其应用	67
2.10 脉冲分配器及其应用	72
2.11 使用门电路产生脉冲信号	75
2.12 单稳态触发器与施密特触发器	77
2.13 555 时基电路及其应用	82
2.14 D/A、A/D 转换器	86

第二篇 电力电子实验

第3章 电力电子实验	91
3.1 电力电子技术实验概述	91
3.2 实验装置简介	92
3.3 单结晶体管触发电路实验	106
3.4 正弦波同步移相触发电路实验	108
3.5 锯齿波同步移相触发电路实验	109
3.6 单相半波可控整流电路实验	111
3.7 单相桥式半控整流电路实验	113
3.8 单相桥式全控整流及有源逆变电路实验	116
3.9 三相半波可控整流电路实验	118
3.10 三相半波有源逆变电路实验	120
3.11 三相桥式半控整流电路实验	122
3.12 三相桥式全控整流及有源逆变电路实验	124
3.13 直流斩波电路原理实验	126
3.14 直流斩波电路的性能研究(六种典型线路)	128
3.15 单相交流调压电路实验	133
3.16 单相交流调功电路实验	135
3.17 三相交流调压电路实验	137
3.18 SCR、GTO、MOSFET、GTR、IGBT 特性实验	138
3.19 GTO、MOSFET、GTR、IGBT 驱动与保护电路实验	140
3.20 单相正弦波脉宽调制(SPWM)逆变电路实验	142
3.21 整流电路有源功率因数校正实验	145
3.22 PS-ZVS-PWM 软开关技术实验	151

第三篇 信号与系统实验

第4章 信号与系统实验	160
4.1 THBCC-1 型信号与系统实验平台系统	160
4.2 常用信号的观察	195
4.3 零输入、零状态及完全响应	196
4.4 一阶系统的脉冲响应与阶跃响应	197
4.5 非正弦周期信号的分解与合成	200
4.6 线性系统的频率特性测试	202

4.7	二阶系统的时域响应	206
4.8	信号的无失真传输	208
4.9	无源与有源滤波器	209
4.10	信号的采样与恢复	211
4.11	调制与解调实验	212
4.12	频分复用	215
4.13	开关电容滤波器	218
4.14	反馈系统的自激振荡	222
4.15	二阶网络函数的模拟	224
4.16	二阶系统的状态轨迹	225

第四篇 电力系统继电保护实验

第5章	电力系统继电保护实验	229
5.1	THKDZB-1型继电保护实验装置使用方法	229
5.2	电磁型电流继电器和电压继电器实验	231
5.3	电磁型时间继电器实验	238
5.4	组合型信号继电器实验	242
5.5	中间继电器实验	245
5.6	6kV~10kV线路过电流保护实验	252
5.7	低电压启动过电流保护及过负荷保护实验	256
5.8	BFY-12A型晶体管负序电压继电器实验	261
5.9	复合电压启动过电流保护实验	264
5.10	ZC-23型冲击继电器实验	269
5.11	电流闭锁电压速断保护实验	272
5.12	发电机过电压保护实验	276
5.13	DH-3型三相一次自动重合闸装置实验	279
5.14	自动重合闸前加速保护实验	283
5.15	自动重合闸后加速保护实验	286
5.16	BCH-2差动继电器特性实验	289
5.17	变压器纵差动保护实验	294
5.18	变压器差动保护与过电流保护实验	300
5.19	单侧电源辐射式输电线路三段式电流保护实验	303
附录	本书常用字符表	311
	参考文献	313

第一篇 电子技术实验

第 1 章 模拟电子技术

1.1 常用电子仪器的使用 (验证性实验)

1.1.1 实验目的

(1) 了解示波器、函数信号发生器、直流稳压电源、交流毫伏表及万用表的工作原理框图和主要技术性能。

(2) 熟悉常用仪器上各旋钮的功能,掌握正确的使用方法。

1.1.2 实验仪器

1. 低频信号发生器	SG1026	1 台
2. 直流稳压电源	HY1711-2SD	1 台
3. 双踪示波器	SS7802 或 COS5020BF	1 台
4. 毫伏表	TH1911	1 台
5. 万用表	VC9802A	1 块

1.1.3 实验原理

在模拟电子电路实验中,经常使用的电子仪器有示波器、函数信号发生器、直流稳压电源、交流毫伏表及频率计等。它们和万用表一起,可以完成对模拟电子电路静态和动态工作情况的测试。

实验中要对各种电子仪器进行综合使用,可按照信号流向,以连线简捷、调节顺手、观察与读数方便等原则进行合理布局,各仪器与被测实验装置之间的布局与连接如图 1-1 所示。接线时应注意,为防止外界干扰,各仪器的公共接地端应连接在一起,称“共地”。信号源和交流毫伏表的引线通常用屏蔽线或专用电缆线,示波器接线使用专用电缆线,直流电源的接线用普通导线。

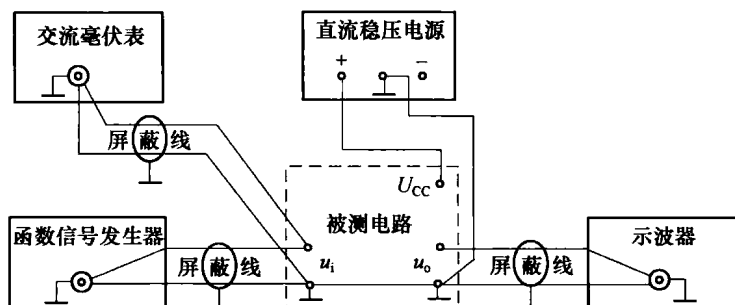


图 1-1 模拟电子电路中常用电子仪器布局图

1.1.4 仪器使用注意事项

每一台电子仪器都有规定的操作规程的使用方法,使用者必须严格遵守。一般电子仪器在使用前

后及使用过程中,都应注意以下几个方面:

1. 仪器开机前注意事项

- (1) 在开机通电前,应检查仪器设备的工作电压与电源电压是否相符。
- (2) 在开机通电前,应检查仪器面板上各开关、旋钮、接线柱、插孔等是否松动或滑位,如发生这些现象,应加以紧固或整位,以防止因此而牵断仪器内部连线,造成断开、短路以及接触不良等人为故障。
- (3) 在开机通电时,应检查电子仪器的接“地”情况是否良好。

2. 仪器开机时注意事项

- (1) 在仪器开机通电时,应使仪器预热 5min ~ 10min,待仪器稳定后再行使用。
- (2) 在开机通电时,应注意检查仪器的工作情况,即眼看、耳听、鼻闻以及检查有无不正常现象。如发现仪器内部有响声、有臭味、冒烟等异常现象,应立即切断电源,再尚未查明原因之前,应禁止再次通电,以免扩大故障。
- (3) 在开机通电时,如发现仪器的保险丝烧断,应更换相同容量的保险管。如第二次开机通电,又烧断保险管,应立即检查,不应第三次调换保险管通电,更不应该随便加大保险管容量,否则导致仪器内部故障扩大,造成严重损坏。

3. 仪器使用过程中注意事项

- (1) 仪器使用过程中,对于面板上各种旋钮、开关的作用及正确使用方法,必须予以了解。对旋钮、开关的扳动和调节,应缓慢稳妥,不可猛扳猛转,以免造成松动、滑位、断裂等人为故障。对于输出、输入电缆的插接,应握住套管操作,不应直接用力拉扯电缆线,以免拉断内部导线。
- (2) 信号发生器输出端不应直接连到直流电压电路上,以免损坏仪器。对于功率较大的电子仪器,二次开机时间间隔要长,不应关机后马上二次开机,否则会烧断保险丝。
- (3) 使用仪器测试时,应先连接“低电位”端(地线),然后连接“高电位”端。反之,测试完毕应先拆除“高电位”端,后拆除“低电位”端。否则,会导致仪器过负荷,甚至损坏仪表。

4. 仪器使用后注意事项

- (1) 仪器使用完毕,应切断仪器电源开关。
- (2) 仪器使用完毕,应整理好仪器零件,以免散失或错配而影响以后使用。
- (3) 仪器使用完毕,应盖好仪器罩布,以免沾积灰尘。

5. 仪器测量时连接

在电子测量时,应特别注意仪器的“共地”问题,即电子仪器相互连接或仪器与实验电路连接时“地”电位端应当可靠连接在一起。由于大多数电子仪器的两个输出端或输入端总有一个与仪器外壳相连,并与电缆引线的外屏蔽线连在一起,这个端点通常用符号“⊥”表示。在电子技术实验中,由于工作频率高,为避免外界干扰和仪器串扰,对实验结果带来影响,导致测量误差增大,所有仪器的“地”电位端与实验电路的“地”电位端必须可靠连接在一起,即“共地”。

1.1.5 实验内容

1. 万用表的使用

VC9802A 数字万用表可测量直流电压、直流电流、交流电压、交流电流、电阻、电容、晶体管直流电流放大倍数等。

测量直流电压:开启直流稳压电源,调节输出电压大小,打开万用表电源开关,将万用表的开关转到相应直流电压挡上,选择合适量程,将万用表并接在电源输出端,红表笔接电源“+”极,黑表笔接电源“-”极,直接读值,即为所测直流电压。数据填入表 1-1。

表 1-1

	直流稳压电源输出				
	24V	0.5V	5V	7.5V	12V
万用表挡位					
万用表读数					

2. 示波器的使用——用机内校正信号对示波器进行自检

示波器是一种电子图示测量仪器,它的突出特点是能够直接观测信号的波形,可以测量各种周期信号的电压、周期、频率、相位等。

(1) 扫描基线调节:打开电源开关,根据光迹指示找出水平扫描基线,调节辉度、聚焦。转动聚焦旋钮,使水平扫描基线清晰且亮度适中。

(2) 把示波器上的“标准信号”通过专用电缆线接入通道 Y1 输入,触发耦合方式开关置“AC”位。按表 1-2 的要求,调节“Y 轴灵敏度”旋钮(v/div)和“扫描时间”旋钮(t/div),测量标准信号的幅度和周期,并填表。

表 1-2

标准信号		Y1 通道灵敏度	信号显示格数	计算实际测量幅值
幅值				
频率		扫描时间量程选择	一周期显示格数	计算实际测量频率

注意:①“Y 轴灵敏度微调”旋钮和“扫描时间微调”旋钮置于“校准”位置,即顺时针旋到底,且听到关的声音。

②不同型号示波器标准值有所不同,请按所使用示波器将标准值填入表格中。

3. 低频信号发生器的使用

SG1026 是一种通用的多功能低频信号源,主发生器能产生 1Hz ~ 1 MHz 的正弦波(有效值)、矩形脉冲和 TTL 逻辑电平。其中正弦波具有较小的失真、良好的幅频特性,输出幅度 0 ~ 5V(连续可调),并具有标准的 600 Ω 输出阻抗特性等。

(1) 打开电源开关,指示灯亮,数码管显示频率大小。实验室用的信号发生器一种是由表头指针显示主发生器的输出电压。由于电路过渡特性影响,通电时指针瞬时满偏,待输出稳定时,指针返回,指示实际电压大小,另外一种是由数码管显示输出电压大小。

(2) 根据使用频率范围,调节“频率调节”旋钮,按十进制方式细调到所需的频率,此时数码管显示频率大小,指示灯指示输出频率的单位。

(3) 输出电压调节:输出电压 1V ~ 5V 时,只需将“输出衰减”置 0dB 位,可以直接从电压表上读出输出电压大小,为精确读数,一般用示波器或交流毫伏表测量输出电压。当输出电压小于 1V 时,先选择适当的电压衰减,再调节“输出幅度”,直接外接示波器或交流毫伏表测量。直到达到所需要的信号电压值。

函数信号发生器作为信号源,它的输出端不允许短路。

4. 交流毫伏表的使用

TH1911 型数字式交流毫伏表主要用于测量频率范围为 10Hz ~ 2MHz、电压为 100 μ V ~ 400V 的正弦波有效值电压。该仪器具有噪声低、线性刻度高、测量精度高、测量电压频率范围宽以及输入阻抗高等优点,同时仪器使用方便,换量程不用调零,4 位数显,显示清晰度高,仪器具有输入端保护功能和超量程报警功能,前者确保输入端过载不会损坏仪器,后者使操作者方便地选择合适量程,不会误读数据。

(1) 将量程开关置于 400V 量程上,开启电源,数字表大约有 5s 不规则的数字跳动,这是开机的正常现象,不表明它是故障。

(2) 使用时必须根据被测信号的大小,选择合适量程。若无法估计被测信号大小,应先选择较大量程,然后再调整到适当量程,以保护仪表。

5. 仪器间的联测

调节低频信号发生器,使输出频率分别为 500Hz、1kHz、10kHz,输出电压有效值为 1V(交流毫伏表测量值)的正弦信号,改变示波器“扫速”开关及“Y 轴灵敏度”开关等位置,分别测量信号源输出电压频

率,数据计入表 1-3。

再用示波器和交流毫伏表测量信号发生器输出 1kHz、电压有效值为 1V(交流毫伏表测量值)的正弦信号在不同“输出衰减”位置时的输出电压,数据计入表 1-4。

表 1-3

信号	扫描时间量程选择	一周显示格数	计算频率
500Hz			
1kHz			
10kHz			

表 1-4

信号输出衰减	0dB	20dB	40dB	60dB
毫伏表读数/mV	1000			
示波器读数/mV				
衰减倍数计算				

1.1.6 实验报告要求

- (1) 记录实验数据,填写实验数据记录表。
- (2) 整理实验数据,分析实验结果,认真书写实验报告,并回答思考题。

1.1.7 思考题

- (1) 电子测量中,为什么要注意仪器“共地”问题?
- (2) 信号发生器最大输出为 5V,当“输出衰减”旋钮置于 60 dB 挡时,输出电压变化范围为多大?如何调节 5 mV/1 kHz 信号?
- (3) 使用示波器时,要达到下列要求应调节那些旋钮?
 - ① 使波形清晰。
 - ② 亮度适中。
 - ③ 波形稳定。
 - ④ 波形上下移动。
 - ⑤ 波形左右移动。
 - ⑥ 改变波形显示周期个数。
 - ⑦ 改变波形显示高度。
- (4) 交流毫伏表是用来测量正弦波电压还是非正弦波电压? 它的表头指示值是被测信号的什么数值? 它是否可以用来测量直流电压的大小?

1.2 单级放大电路静态参数测试
(验证性实验)

1.2.1 实验目的

- (1) 熟悉模拟电子技术实验箱的结构,学习电子线路的搭接方法。
- (2) 学习测量和调整放大电路的静态工作点,观察静态工作点设置对输出波形的影响。

1.2.2 实验说明

图 1-2 为电阻分压式工作点稳定单管放大器实验电路图。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入输入信号 u_i 后,在放大器的输出端便可得到一个与 u_i 相位相反,幅值被放大的输出信号 u_o ,从而实现了电压放大。

在图 1-2 电路中,旁路电容 C_E 是使 R_E 对交流短路,而不致于影响放大倍数,耦合电容 C_1 和 C_2 起隔直和传递交流的作用。当流过偏置电阻 R_{B1} 和 R_{B2} 的电流远大于晶体管 T 的基极电流 I_B 时(一般 5 倍~10 倍),则它的静态工作点可用下式估算:

$$U_B \approx \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} U_{CC}$$
$$I_E \approx \frac{U_B - U_{BE}}{R_E} \approx I_C$$
$$U_{CE} = U_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$

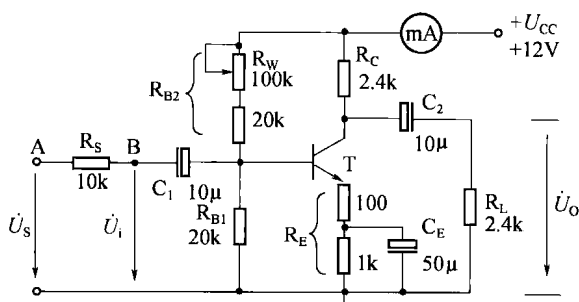


图 1-2 共射极单管放大器实验电路

电压放大倍数

$$A_v = -\beta \frac{R_C // R_L}{r_{be}}$$

输入电阻

$$R_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{be}$$

输出电阻

$$R_o \approx R_C$$

由于电子器件性能的分散性比较大,因此在设计和制作晶体管放大电路时,离不开测量和调试技术。在设计前应测量所用元器件的参数,为电路设计提供必要的依据,在完成设计和装配以后,还必须测量和调试放大器的静态工作点和各项性能指标。一个优质放大器,必定是理论设计与实验调整相结合的产物。因此,除了学习放大器的理论知识和设计方法外,还必须掌握必要的测量和调试技术。

放大器的测量和调试一般包括:放大器静态工作点的测量与调试,消除干扰与自激振荡及放大器各项动态参数的测量与调试等。

放大器静态工作点的测量与调试。

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 $u_i = 0$ 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位 U_B 、 U_C 和 U_E 。一般实验中,为了避免断开集电极,所以采用测量电压 U_E 或 U_C ,然后算出 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 $U_{BE} = U_B - U_E$, $U_{CE} = U_C - U_E$ 。

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管子集电极电流 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,放大器在加入交流信号以后易产生饱和失真,此时 u_o 的负半周将被削底,如图 1-3(a) 所示;如工作点偏低则易产生截止失真,即 u_o 的正半周被缩顶(一般截止失真不如饱和失真明显),如图 1-3(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电压 u_i ,检查输出电压 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。

改变电路参数 U_{CC} 、 R_C 、 R_B (R_{B1} 、 R_{B2}) 都会引起静态工作点的变化,如图 1-4 所示。但通常多采用调节偏置电阻 R_{B2} 的方法来改变静态工作点,如减小 R_{B2} ,则可使静态工作点提高等。

最后还要说明的是,上面所说的工作点“偏高”或“偏低”不是绝对的,应该是相对信号的幅度而言,如输入信号幅度很小,即使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,静态工作点最好尽量靠近交流负载线的中点。

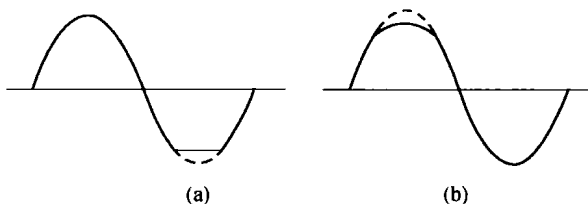


图 1-3 静态工作点对 u_o 波形失真的影响

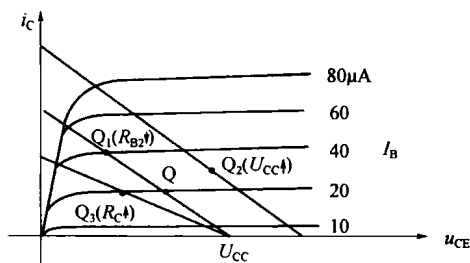


图 1-4 电路参数对静态工作点的影响

1.2.3 实验内容

实验电路如图 1-2 所示。各电子仪器可按实验一中图 1-1 所示方式连接,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 R_w 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 R_w ,使 $I_C = 2.0\text{mA}$ (即 $U_E = 2.2\text{V}$, 因为 $I_C \approx I_E = U_E/R_E$),用直流电压表测量 U_B 、 U_E 、 U_C 及用万用电表电阻挡测量 R_{B2} 值。记入表 1-5。

表 1-5 $I_C = 2\text{mA}$

测量值				计算值		
U_B/V	U_E/V	U_C/V	$R_{B2}/\text{k}\Omega$	U_{BE}/V	U_{CE}/V	I_C/mA

2. 观察静态工作点对输出波形失真的影响

置 $R_C = 2.4\text{k}\Omega$,信号源频率 1kHz , $u_i = 0$,调节 R_w 使 $I_C = 2.0\text{mA}$,测出 U_{CE} 值,再逐步加大输入信号,使输出电压 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_w ,使波形出现失真,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 1-6 中。

表 1-6 $R_C = 2.4\text{k}\Omega$ $R_L = \infty$ $u_i = \text{mV}$

I_C/mA	U_{CE}/V	U_o 波形	失真情况	管子工作状态
2.0				

每次测 I_C 和 U_{CE} 值时都要使信号源的输出 $u_i = 0$ 。

表中 I_C 和 U_{CE} 的值要计算, $I_C \approx I_E = \frac{U_E}{R_E}$, $U_{BE} = U_B - U_E$, $U_{CE} = U_C - U_E$ 。

1.2.4 实验报告要求

- (1) 认真做实验,记录实验数据。
- (2) 讨论并总结静态工作点变化对放大器输出波形的影响。

1.2.5 预习要求

- (1) 阅读教材中有关单管放大电路的内容并估算实验电路的性能指标。

假设:3DG6 的 $\beta = 100$, $R_{B1} = 20\text{k}\Omega$, $R_{B2} = 60\text{k}\Omega$, $R_C = 2.4\text{k}\Omega$, $R_L = 2.4\text{k}\Omega$ 。

估算放大器的静态工作点,电压放大倍数 A_v ,输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 。

- (2) 能否用直流电压表直接测量晶体管的 U_{BE} ? 为什么实验中要采用测 U_B 、 U_E ,再间接算出 U_{BE} 的方法?

- (3) 怎样测量 R_{B2} 阻值?

- (4) 当调节偏置电阻 R_{B2} ,使放大器输出波形出现饱和或截止失真时,晶体管的管压降 U_{CE} 怎样变化?

1.3 单极放大电路动态参数测试 (验证性实验)

1.3.1 实验目的

掌握放大器电压放大倍数、输入电阻、输出电阻的测试方法。

1.3.2 实验原理

参见实验 1.2 说明。

放大器动态指标包括电压放大倍数、输入电阻、输出电阻、最大不失真输出电压(动态范围)和通频带等。

1. 电压放大倍数 A_u 的测量

调整放大器到合适的静态工作点,然后加入输入电压 u_i ,在输出电压 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

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

2. 输入电阻 R_i 的测量

为了测量放大器的输入电阻,按图 1-5 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,得

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

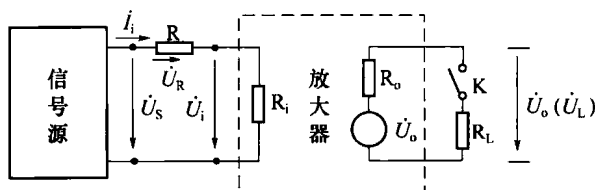


图 1-5 输入、输出电阻测量电路

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_R 时必须分别测出 U_s 和 U_i ,然后按 $U_R = U_s - U_i$ 求出 U_R 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 $R = 1\text{k}\Omega \sim 2\text{k}\Omega$ 。

3. 输出电阻 R_o 的测量

按图 1-5 电路,在放大器正常工作条件下,测出输出端不接负载 R_L 的输出电压 U_o 和接入负载后的输出电压 U_L ,根据

$$U_L = \frac{R_L}{R_o + R_L} U_o$$

即可求出

$$R_o = \left(\frac{U_o}{U_L} - 1 \right) R_L$$

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。

4. 最大不失真输出电压 U_{opp} 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。为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_w (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缩顶现象(图 1-6)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,且无明显失真时,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_{opp} 来。

5. 放大器幅频特性的测量

放大器的幅频特性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 1-7 所示,晶体三极管管脚排列如图 1-8 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放大倍数的 $1/\sqrt{2}$ 倍,即 $0.707A_{um}$ 所对应的频率分别称为下限频率 f_L 和上限频率 f_H ,则通频带 $f_{BW} = f_H - f_L$ 。

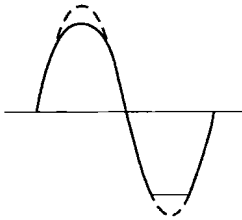


图 1-6 静态工作点正常,输入信号太大引起的失真

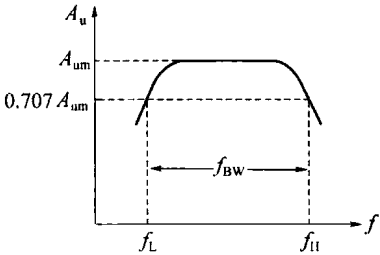


图 1-7 幅频特性曲线

放大器的幅率特性就是测量不同频率信号时的电压放大倍数 A_u 。为此,可采用前述测 A_u 的方法,每改变一个信号频率,测量其相应的电压放大倍数,测量时应注意取点要恰当,在低频段与高频段应多测几点,在中频段可以少测几点。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。

6. 干扰和自激振荡的消除

参考相关资料。

1.3.3 实验内容

电路图、电路参数均与实验二相同。

1. 测量电压放大倍数

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电压 u_o 波形,在波形不失真的条件下用交流毫伏表和示波器测量下述三种情况下的 U_o 值,并用双踪示波器观察 u_o 和 u_i 的相位关系,注意标示波形幅值,记入表 1-7。

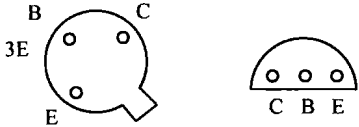
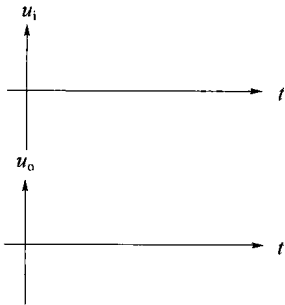


图 1-8 晶体三极管管脚排列

表 1-7 $I_c=2.0\text{mA}$ $U_i = \text{ mV}$

$R_C/\text{k}\Omega$	$R_L/\text{k}\Omega$	U_o/mV	A_u	观察记录一组 u_o 和 u_i 波形
2.4	∞	(示)		
		(毫)		
1.2	∞	(示)		
		(毫)		
2.4	2.4	(示)		
		(毫)		

* 2. 观察静态工作点对电压放大倍数的影响

置 $R_C=2.4\text{k}\Omega, R_L=\infty, U_i$ 适量, 调节 R_w , 用示波器监视输出电压波形, 在 u_o 不失真的条件下, 测量数组 I_C 和 U_o 值, 记入表 1-8。

* 3. 测量最大不失真输出电压

置 $R_C=2.4\text{k}\Omega, R_L=2.4\text{k}\Omega$, 按照实验原理中所述方法, 同时调节输入信号的幅度和电位器 R_w , 用示波器和交流毫伏表测量 U_{opp} 及 U_o 值, 记入表 1-9。

表 1-8 $R_C=2.4\text{k}\Omega$ $R_L=\infty$ $U_i = \text{ mV}$

I_C/mA			2.0		
U_o/V					
A_u					

表 1-9 $R_C=2.4\text{k}\Omega$ $R_L=2.4\text{k}\Omega$

I_C/mA	U_{im}/mV	U_{om}/V	U_{opp}/V

4. 测量输入电阻和输出电阻

置 $R_C=2.4\text{k}\Omega, R_L=2.4\text{k}\Omega, I_C=2.0\text{mA}$ 。在电路 A 点输入 $f=1\text{kHz}$ 的正弦信号, 在输出电压 u_o 不失真的情况下, 用交流毫伏表测出 U_s, U_i 的大小, 计算 R_i 。

保证 $I_C=2.0\text{mA}$, 在电路 B 点输入 $f=1\text{kHz}$ 的正弦信号, 测量 $R_L=\infty$ 时的 U_o 值; 保持 U_s 不变, 测量 $R_L=2.4\text{k}\Omega$ 时的输出电压 U_o , 计算 R_o , 记入表 1-10。

表 1-10 $I_C=2\text{mA}$ $R_C=2.4\text{k}\Omega$ $R_L=2.4\text{k}\Omega$

U_s/mV	U_i/mV	$R_i/\text{k}\Omega$		U_o/mV	U_L/mV	$R_o/\text{k}\Omega$	
		测量值	理论值			测量值	理论值

* 5. 测量幅频特性曲线

取 $I_C=2.0\text{mA}, R_C=2.4\text{k}\Omega, R_L=2.4\text{k}\Omega$ 。保持输入信号 u_i 的幅度不变, 改变信号源频率 f , 逐点测出相应的输出电压 U_o , 记入表 1-11。

表 1-11 $U_i = \text{ mV}$

	f_L	f_o	f_n
f/kHz			
U_o/V			
$A_u = U_o/U_i$			

为了信号源频率 f 取值合适, 可先粗测一下, 找出中频范围, 然后再仔细读数。

1.3.4 预习要求

- (1) 阅读教材中有关单管放大电路的内容并估算实验电路的性能指标。
- (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?
- (3) 阅读有关放大器干扰和自激振荡消除内容。

1.3.5 实验报告要求

(1) 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、输出电阻之值与理论计算值比较(取一组数据进行比较),分析产生误差原因。

(2) 总结 R_C 、 R_L 及静态工作点对放大器电压放大倍数、输入电阻、输出电阻的影响。

注:图 1-9 所示为共射极单管放大器与带有负反馈的两级放大器共用实验模块。如将 K_1 、 K_2 断开,则前级(I)为典型电阻分压式单管放大器;如将 K_1 、 K_2 接通,则前级(I)与后级(II)接通,组成带有电压串联负反馈两级放大器。

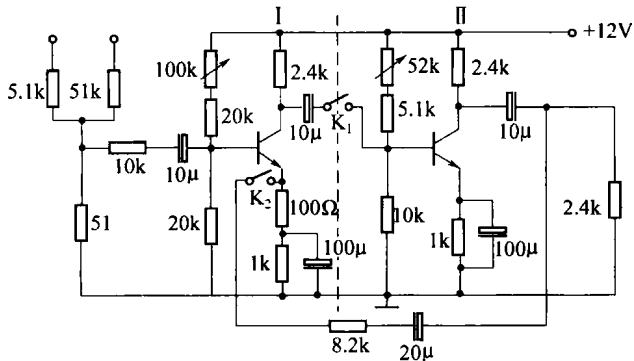


图 1-9

1.4 射极跟随器

(验证性实验)

1.4.1 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测试方法。

1.4.2 实验原理

射极跟随器的原理图如图 1-10 所示。它是一个电压串联负反馈放大电路,它具有输入电阻高,输出电阻低,电压放大倍数接近于 1,输出电压能够在较大范围内跟随输入电压作线性变化以及输入、输出信号同相等特点。

射极跟随器的输出取自发射极,故称其为射极输出器。

1. 输入电阻 R_i

在图 1-10 所示电路中,有

$$R_i = r_{be} + (1 + \beta) R_E$$

如考虑偏置电阻 R_B 和负载 R_L 的影响,则

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

由上式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 $R_i = R_B // r_{be}$ 要高得多,但由于偏置电阻 R_B 的分流作用,输入电阻难以进一步提高。

输入电阻的测试方法同单管放大器,实验线路如图 1-11 所示。