



高等职业教育“十二五”规划教材
高职高专电子类立体化创新系列教材

电子技能实验与 实训教程

周福平 主编
蔡大山 主审



科学出版社

高等职业教育“十二五”规划教材
高职高专电子类立体化创新系列教材

电子技能实验与实训教程

周福平 主编

蔡大山 主审

科学出版社

北 京

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303

内 容 简 介

本书是依据高职高专“电子信息及应用电子”专业学生职业技能训练的基本要求,为满足高职教育实验、实训的需要而编写的,内容涵盖该专业的主要基础课程和专业课程的实验及实训,编写时遵循了电子行业有关职业技能鉴定规范及相关国家标准。全书分为两篇。上篇为专业实验,包括模拟电子实验、数字电子实验、电子测量实验、高频电子实验、单片机实验5个模块;下篇为技能实训,包括基础实训、模拟电子实训、数字电子实训、高频电子实训、单片机实训、PCB设计实训、电路仿真实训、电子工艺实训8个模块;附录包括电子产品组装工艺、电子产品检验与维修方法等专业知识,并录入了电子行业中最通用的电子设备装接工、无线电调试工国家职业标准。每个实训模块包含三个贴合实训主题的实际产品或项目,使本书的实训内容丰富而贴近生产实际,并兼具电路工具书的特点。

本书可作为高职高专及各类大专院校电子类专业学生技能训练、学习电子基础课程和专业课程的实验、实训教材,也可供电子制造企业职工技能培训及电子从业人员、广大电子爱好者参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电子技能实验与实训教程/周福平主编. —北京:科学出版社,2011.8
高等职业教育“十二五”规划教材. 高职高专电子类立体化创新系列教材
ISBN 978-7-03-031843-5

I. ①电… II. ①周… III. ①电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第137862号

责任编辑:张颖兵 程欣/责任校对:梅莹

责任印制:彭超/封面设计:苏波

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

武汉市新华印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2011年8月第一次印刷 印张:25 1/4

印数:1—3 000 字数:582 000

定价:42.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《电子技能实验与实训教程》

编委会

主 编 周福平

主 审 蔡大山

副主编 陈祖新

编 委 (按姓氏拼音排序)

蔡大山 陈祖新 董英英 江中华

金 婷 游家发 张继斌 周福平

朱小祥

前 言

《电子技能实验与实训教程》是针对高等职业教育电子类专业编写的一本实践性教材,训练内容涵盖了该专业群学生应具备的基本技能、专业技能与拓展技能。在编写模式上与现行课程体系相一致,但又不局限于课程体系结构,而是从实践出发,以实际产品为载体,以训练学生就业时预期岗位的必备技能和发展潜能为目标,突出技能培养的特点。

本教材包括模拟电子技术、数字电子技术、电子测量技术、高频电子技术、单片机技术、电子工艺技术等课程的实验与实训。针对每个课程模块的知识内容,提炼出相应的必备技能要素,设计与之相适应的实际电子产品作为实训项目以强化这些技能要素的训练。针对电子技术、电子工艺日新月异的发展以及高等职业教育培养技能型人才的目标,还补充了电子产品工艺实训模块,电子产品组装、调试、检验以及电子装接工和无线电调试工国家职业标准等内容,力争通过相关实训,实现学生从校园到企业后,能很快适应相关岗位的技能要求。

本教材有如下主要特点:

第一,突出技能训练,理论知识以“必须”和“够用”为原则。在涉及必须的理论知识介绍时,以其在实训产品中的应用为主线来展开,且以够用为原则。将重点放在理论与实际的结合以及动手能力的培训上。

第二,灵活的项目组合,适应性强。每个实训模块设计了三个侧重点不同、难度有差别的项目供选择,以适应电子类不同专业和不同实训课时安排的需要。有的项目既可独立作为一个实训项目,也可作为另外一个实训项目的铺垫或组成部分。

第三,紧跟新技术、新工艺、新方法。电子行业的技术发展日新月异,本书在内容取舍与项目设计上紧跟时代步伐,力求使用目前最流行且较前端的器件与工艺技术。

第四,项目贴近实际,且具可操作性,全部项目都经过验证。

本教材由周福平担任主编,陈祖新担任副主编,蔡大山担任主审,朱小祥、游家发、江中华、董英英、金婷参加了编写。其中模块1和模块2由陈祖新编写,模块3由董英英编写,模块4和模块9由朱小祥编写,模块5和模块10由江中华编写,模块6、模块7、模块8、模块13以及附录由周福平编写,模块11和模块12由游家发编写,金婷绘制了模块1和模块2的插图,张继斌制作了部分电子课件。在编写过程中,何琼、涂杏林、杨晓林、魏其谋、盖超会、杨玲玲、冉捷等老师提供了很多帮助,在此一并表示感谢。

由于编写时间仓促,书中疏漏和不当之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者
2011年5月

目 录

上篇 专业实验

模块 1 模拟电子实验	3
实验 1.1 电子仪器仪表的使用	3
实验 1.2 单管共射极放大电路的测试	7
实验 1.3 射级跟随器的探究	12
实验 1.4 负反馈放大电路的测量	17
实验 1.5 RC 桥式正弦波振荡器	21
实验 1.6 差分放大电路的研究	24
实验 1.7 集成运算放大器的线性应用	28
实验 1.8 OTL 功率放大器的探讨	34
实验 1.9 直流稳压电源的性能测试	38
模块 2 数字电子实验	44
实验 2.1 晶体管开关特性测试	44
实验 2.2 TTL、CMOS 集成门电路的功能及参数测试	47
实验 2.3 组合逻辑电路设计与测试	53
实验 2.4 译码器的功能测试及应用	56
实验 2.5 数据选择器的功能及应用	63
实验 2.6 触发器逻辑功能测试及应用	69
实验 2.7 移位寄存器的功能及应用	76
实验 2.8 计数器的应用	83
实验 2.9 集成定时器 555 的应用电路	88
实验 2.10 模数 A/D、数模 D/A 转换器	94
模块 3 电子测量实验	100
实验 3.1 基本电学量的测量及测量数据的处理	100
实验 3.2 低频、高频信号发生器的使用	104
实验 3.3 函数信号发生器的使用	108
实验 3.4 模拟示波器的使用	111
实验 3.5 数字存储示波器的使用	116
实验 3.6 电子计数器的使用	121

实验 3.7 电子电压表的使用	125
实验 3.8 晶体管特性图示仪测量二极管和三极管	129
实验 3.9 频率特性测试仪的使用	133
实验 3.10 电路仿真测量	138
模块 4 高频电子实验	143
实验 4.1 高频小信号调谐放大电路实验	143
实验 4.2 高频功率放大与发射实验	147
实验 4.3 LC 与晶体振荡器实验	149
实验 4.4 幅度调制与解调实验	154
实验 4.5 晶体二极管检波实验	157
实验 4.6 变容二极管调频器与相位鉴频器实验	159
模块 5 单片机实验	165
实验 5.1 Keil μ Vision2 仿真软件的使用	165
实验 5.2 跑马灯实验	171
实验 5.3 外部中断实验	175
实验 5.4 计数器实验	177
实验 5.5 定时器实验	179
实验 5.6 动态显示实验	181
实验 5.7 矩阵式按键实验	183

下篇 技能实训

模块 6 电子基础实训	191
项目 6.1 常用元器件识别与焊接组装技能训练	191
项目 6.2 MF47 指针式万用表组装	201
项目 6.3 DT830B 数字式万用表组装	210
模块 7 模拟电子实训	218
项目 7.1 8 瓦 OCL 输出扩音机的制作	218
项目 7.2 七级音频电平指示器的制作	227
项目 7.3 串联开关稳压电源的制作	232
模块 8 数字电子实训	239
项目 8.1 九段数字定时器的制作	239
项目 8.2 可预置时间的倒计时定时报警器的制作	246
项目 8.3 多路抢答器的设计与制作	252

模块 9 高频电子实训 260

 项目 9.1 七管超外差调幅收音机装配实训 260

 项目 9.2 无线话筒设计装配实训 268

 项目 9.3 集成电路收音机的组装与调试 274

模块 10 单片机实训 286

 项目 10.1 数字时钟的设计 286

 项目 10.2 数字电压表的设计 295

 项目 10.3 简易计算器的设计 298

模块 11 PCB 设计实训 303

 项目 11.1 功率放大器的 PCB 设计 303

 项目 11.2 洗衣机控制电路的 PCB 设计 310

 项目 11.3 数字频率计的 PCB 设计 317

模块 12 电路仿真实训 325

 项目 12.1 低频功率放大器的仿真 325

 项目 12.2 数字钟的仿真 332

 项目 12.3 数字抢答器的仿真 338

模块 13 电子工艺实训 346

 项目 13.1 印制板制作 346

 项目 13.2 SMT 表面组装工艺实训 352

 项目 13.3 电子工艺文件识读与编制 360

参考文献..... 392

上篇

专业实验



模块1 模拟电子实验

本模块包括电子仪器仪表的使用、单管共射极放大电路的测试、射级跟随器的探究、负反馈放大电路的测量、RC 桥式正弦波振荡器、差分放大器的研究、集成运算放大器的线性应用、OTL 功率放大器的探讨、直流稳压电源的性能测试 9 个实验,可根据教学进程、课时安排及实验条件选做其中一部分或全部实验。

实验 1.1 电子仪器仪表的使用

实验目的

- (1) 掌握示波器、函数信号发生器、交流毫伏表和频率计等电子仪器仪表的正确使用方法。
- (2) 熟悉用示波器观察各种信号波形,并能确定信号波形的参数。
- (3) 了解示波器、函数信号发生器、交流毫伏表等仪器仪表的技术指标和性能。

实验器材

模拟电路实验台(包括直流稳压电源、函数信号发生器、直流电压表、直流电流表、交流毫伏表、数字频率计、中小规模集成芯片插座等),双踪示波器,万用表。

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。它们和万用电表一起,可以完成对模拟电子电路的静态和动态工作情况的测试。

万用表一般用于测量电路的静态工作点和直流信号,有数字式和指针式两种。示波器用来观察电路中各测试点的波形,监测电路的工作情况,也可用来测量信号的周期、频率、幅值、相位差及观察电路的特性曲线等,有单踪和双踪两种。函数信号发生器为测量电路提供各种频率、幅值及波形的输入信号。直流稳压电源是把交流电源转换成直流电源的装置,为电路提供工作电源。交流毫伏表用来测量交流电压大小的仪表,有数字式和指针式两种。

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 1.1.1 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,示波器接线使用专用电缆线,直流电源的接线用普通导线。

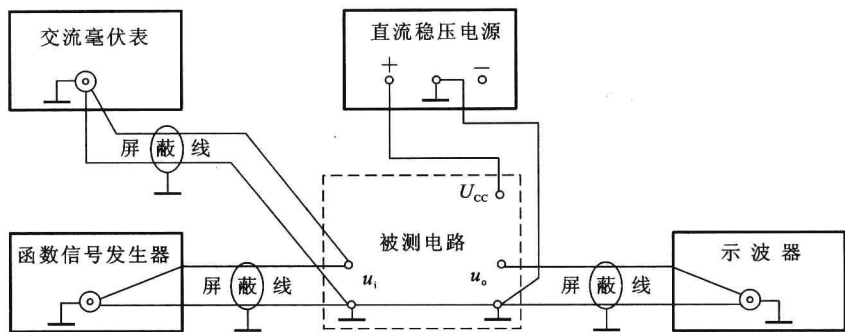


图 1.1.1 模拟电子电路中常用电子仪器布局图

1. 双踪示波器

示波器是一种用途很广的电子测量仪器,它是利用阴极射线管作为显示器的电子测量仪器。示波器既能直接显示电信号的波形,又能对电信号的各种参数(如电压、电流、周期、频率、相位、失真度以及脉冲信号的参量)进行测量。下面介绍双踪示波器使用要点。

1) 寻找扫描光迹

将示波器显示方式置“CH₁”或“CH₂”,输入耦合方式置“GND”,开机预热后,屏幕上出现扫描光迹,分别调节辉度、聚焦、垂直、水平位移的旋钮,使光迹清晰并且与水平刻度线平行。若在显示屏上不出现光点和扫描基线,可按下列操作去找到扫描线。

- (1) 适当调节亮度旋钮。
- (2) 触发方式开关置“自动”。
- (3) 适当调节垂直、水平“位移”旋钮。

2) 双踪显示信号波形

(1) 两个被选用通道 CH₁, CH₂ 插座,将被测信号输入被选用的通道插座,被测信号若为交流信号就将输入耦合方式置于“AC”,若为直流信号就将输入耦合方式置于“DC”。

(2) 双踪示波器一般有 5 种显示方式,即“CH₁”(通道 1),“CH₂”(通道 2),“ADD”(相加)三种单踪显示方式和“ALT”(交替)和“CHOP”(断续)两种双踪显示方式。

“CH₁”(通道 1):单独显示“CH₁”通道的输入信号。

“CH₂”(通道 2):单独显示“CH₂”通道的输入信号。

“ADD”相加:显示 CH₁, CH₂ 两通道输入信号之和。

“ALT”交替:CH₁, CH₂ 两通道信号交替显示,一般适宜于输入信号频率较高时使用。因交替频率高,借助示波管的余辉在屏幕上能同时显示。

“CHOP”断续:CH₁, CH₂ 两通道信号同时显示,一般适宜于输入信号频率较低时使用。

(3) 为了显示稳定的被测信号波形,“触发源选择”开关一般选为“INT”内触发,使扫描触发信号取自示波器 CH₁ 或 CH₂ 通道的被测信号。

(4) 触发方式开关通常先置于“ AUTO”自动,调出波形后,若被显示的波形不稳定,可置触发方式开关于“ NORM”常态,通过调节“触发电平”旋钮找到合适的触发电压,使被测的波形稳定地显示在示波器屏幕上。



3) 测量信号的幅值和频率

适当调节“t/div”(扫描速率)开关及“v/div”(Y轴灵敏度)开关使屏幕上显示一到两个周期的被测信号波形。

(1) 测量信号的幅值、峰-峰值和有效值。在测量幅值时,应注意将“Y轴灵敏度微调”旋钮置于“校准”位置,即顺时针旋到底。根据被测波形在屏幕坐标刻度上垂直方向所占的格数(div或cm)与“Y轴灵敏度”开关指示值(v/div)的乘积,即可算得被测信号幅值的实测值。例如,交流电压的峰-峰值 U_{P-P} 为

$$U_{P-P} = \text{垂直方向所占的格数}(\text{div}) \times Y \text{轴灵敏度读数}(\text{v/div})$$

若电压信号为正弦波,则 $U_{\text{有效值}} = U_{P-P} / 2\sqrt{2}$ 。

(2) 测量信号的周期和频率。在测量周期时,应注意将“X轴扫描微调”旋钮置于“校准”位置,即顺时针旋到底。根据被测信号波形一个周期在屏幕坐标刻度水平方向所占的格数(div或cm)与“X轴扫描速率”开关指示值(t/div)的乘积,即可算得信号频率的实测值。如交流信号的周期 T 为

$$T = \text{两个峰点的格数}(\text{div}) \times X \text{轴扫描速率读数}(\text{s/div})$$

则信号频率 f 为

$$f = 1/T$$

2. 函数信号发生器和频率计

在电子实验中,能够产生各种不同特性波形的振荡器,即为函数信号发生器。它能提供各种不同的波形、不同的频率和不同的电压幅值的信号。频率计是用来测量信号的频率的仪表。

DZX-2 函数信号发生器按需要输出正弦波、方波、三角波等信号波形。输出频率范围为 15 Hz~90 kHz,输出电压的峰-峰值最大可达 15V_{P-P}。使用时,只要开启函数信号发生器的开关,即进入工作状态,通过输出衰减开关和输出幅度调节旋钮,可使输出电压在毫伏级到伏级范围内连续调节。函数信号发生器的输出信号频率可以通过频率分挡开关进行调节。不同波形的输出通过选择按键切换。值得注意的是,函数信号发生器作为信号源,它的输出端不允许短路。

只要开启频率计的开关,即进入待测状态,本实验用的频率计分辨率为 1 Hz,测频范围为 1 Hz~300 kHz,选择开关置于“内测”,即为函数信号发生器自身的信号输出频率;选择开关置于“外测”,则是输入的被测信号的频率。在使用频率计的过程中,如果遇到瞬时强干扰而出现死锁,此时按一下复位“RES”键,即可自动恢复正常工作。

3. 交流毫伏表

交流毫伏表是用来测量正弦交流信号电压大小的仪表。它只能在其工作频率范围之内,测量显示的是正弦电压的有效值。与万用表相比,它具有灵敏度高、输入阻抗高、可测的电压和频率范围宽、分布参量小、承受较大和较久的过载等优点。为了防止过载而损坏,测量前一般先把量程开关置于量程较大位置上,然后在测量中逐挡减小量程。

用交流毫伏表来测量正弦交流信号电压时,应先接好地线,再连接高电位端;实验完毕后,应先取下高电位端线,再取下地线。



内容与步骤

1. 用交流毫伏表测量正弦信号电压

(1) 连接函数信号发生器和交流毫伏表,将函数信号发生器的“信号选择”置于正弦波,频率计开关置于“内测”。

(2) 开启函数信号发生器和频率计电源开关,按表 1.1.1 中数据调节函数信号发生器的频率和幅值旋钮,从频率计读出信号的频率。

表 1.1.1 正弦信号频率和有效值测量值

正弦信号的频率/Hz	100	1000	2000	5000	8000
正弦信号的有效值	3 V	20 mV	80 mV	240 mV	10 mV
交流毫伏表量程					

(3) 适当选择交流毫伏表上的量程,将有关数据填入表 1.1.1 中。

2. 用机内校正信号对示波器进行自检

1) 扫描基线调节

(1) 将示波器的显示方式开关置于“单踪”显示(CH₁或CH₂),输入耦合方式开关置于“GND”,触发方式开关置于“自动”。

(2) 开启电源开关后,调节“辉度”、“聚焦”、“辅助聚焦”、“扫速”等旋钮,使荧光屏上显示一条细而且亮度适中的扫描基线。

(3) 调节“X 轴位移”和“Y 轴位移”旋钮,使扫描线位于屏幕中央,并且能上下左右移动自如。

2) 测试“校正信号”波形的幅度、频率

将示波器的“校正信号”通过探头引入选定的通道(CH₁或CH₂),将 Y 轴输入耦合方式开关置于“AC”或“DC”,触发源选择开关置于“内”,内触发源选择开关置于“CH₁”或“CH₂”;调节 X 轴“扫描速率”开关(t/div)和 Y 轴“输入灵敏度”开关(V/div),使示波器显示屏上显示出一个或数个周期稳定的方波波形。

(1) 校准“校正信号”幅度。将“Y 轴灵敏度微调”旋钮置“校准”位置,“Y 轴灵敏度”开关置适当位置,读取校正信号幅度,记入表 1.1.2。

表 1.1.2 “校正信号”波形的幅度、频率测量值

	标准值	实测值
幅度 U_{P-P}/V		
频率 f/kHz		

注意: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。

(2) 校准“校正信号”频率。将“扫速微调”旋钮置“校准”位置,“扫速”开关置适当位置,读取校正信号周期,记入表 1.1.2。



3. 用示波器和交流毫伏表测量信号参数

(1) 调节函数信号发生器有关旋钮,使输出频率分别为 100Hz,1kHz,10kHz,100kHz,有效值均为 1 V(交流毫伏表测量值)的正弦波信号。

(2) 改变示波器“扫速”开关及“Y 轴灵敏度”开关等位置,测量信号源输出电压频率及峰峰值,记入表 1.1.3。

表 1.1.3 信号电压参数的测量值

信号电压 的频率	示波器测量值		信号电压毫 伏表的读数	示波器测量值	
	周期/ms	频率/Hz		峰峰值/V	有效值/V
100 Hz					
1 kHz					
10 kHz					
100 kHz					

注意事项

(1) 熟悉示波器面板上各旋钮的作用,切不可盲目操作。

(2) 直流稳压电源输出负电压应将电源的正极接地,负极接入电路。

(3) 使用双踪示波器的两个通道同时测量两个信号时,必须保证两个探头的地线接在电路的同一点上。

思考

(1) 使用示波器时,什么情况下需要用校准信号方波对示波器进行校准?

(2) 信号电压的测量能否用万用表?

实验报告要求

(1) 根据实验结果,记录整理实验数据填入相应的表格。

(2) 画出各仪器使用连接示意图。

(3) 完成实验思考题,写出实验后的心得体会。

实验 1.2 单管共射极放大电路的测试

实验目的

(1) 熟悉双踪示波器、函数信号发生器、交流毫伏表、频率计等仪器仪表的使用。

(2) 掌握放大电路静态工作点的调试和测量方法,能分析静态工作点对放大电路的影响。

(3) 学会放大电路的输入电阻、输出电阻以及放大倍数等动态指标的测量方法。



(4) 通过实验进一步理解单管共射极放大电路的特点。

实验器材

模拟电路实验台、双踪示波器、模块(单管放大、负反馈两级放大实验电路)、三极管 3DG6、电阻、电容、电位器若干。

实验原理

1. 典型电阻分压式单管共射极放大电路的介绍

在图 1.2.1 电路中,三极管 VT 是放大电路的核心,组成共发射极放大电路,它可将低频电压信号进行不失真放大。 C_1 、 C_2 分别为输入、输出端的耦合电容,其容量足够大(交流信号可视为短路),一般用有极性的电解电容。为了改善放大器的性能,发射极中接有负反馈电阻 R_E ,这样会影响放大器的电压放大倍数,因而将其并联一个电容 C_E ,称为旁路电容,动态时 R_E 被短路,从而不影响放大器的电压放大倍数;由上偏置电阻 R_{B1} 和下偏置电阻 R_{B2} (其中 R_w 可调)组成分压式偏置电路,它的作用是固定三极管 VT 的基极电位从而稳定放大器的静态工作点。

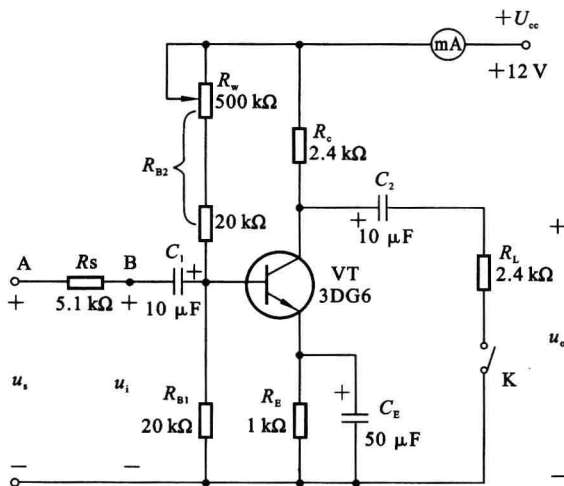


图 1.2.1 电阻分压式单管共射极放大电路

2. 静态分析放大电路的工作点

1) 设置、调试静态工作点

静态工作点是指放大电路输入信号为零时的直流状态参数 I_B 、 U_{BE} 和 I_E 、 U_{CE} 分别在三极管的输入和输出特性曲线上确定的点 Q。放大器只有选定了合适的静态工作点后才能正常工作,否则将引起输出电压波形失真,导致放大器不能正常工作。合适的静态工作点的设置与参数 R_{B1} 、 R_{B2} 、 U_{CC} 的大小有关。

放大器静态工作点的调试是指对三极管集电极电流 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。静态工作点设置偏高,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;静态工作点设置偏低,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)。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。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。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。

2) 求静态工作点 Q

在图 1.2.1 所示电路中,静态时,流过上、下偏置电阻 R_{B1} 和 R_{B2} 的电流远大于流入三极管 VT 基极的电流(一般在 10 倍以上),这样两偏置电阻 R_{B1} 和 R_{B2} 构成一个串联分压电路,三极管 VT 基极的电位 U_B 近似为

$$U_B \approx \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} U_{CC}$$

则三极管 T 基极的电位 U_B 被固定,即由 R_{B1} 和 R_{B2} 的阻值和电源电压 U_{CC} 确定,与其他因素(如温度变化)无关,这样放大器的静态工作点可以如下计算:

$$I_E \approx \frac{U_B - U_{BE}}{R_E} \approx I_C$$

$$I_B \approx \frac{I_C}{\beta}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

以上三式说明 I_E, I_B, U_{CE} 的值能够稳定,即放大器的静态工作点能够得到稳定。

3. 动态分析放大电路的性能指标

放大电路的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

当输入信号不为零(低频小信号)时,放大器的交流工作状态称为“动态”。如果输入信号幅值很小或者晶体管工作在输入特性的线性部分,晶体管可以视为线性元件,输出信号与输入信号的变化波形一样,但相位相反,如果集电极电阻 R_C 和负载电阻 R_L 都足够大,输出信号的幅值将远大于输入信号的幅值,其比值即为放大器的电压放大倍数 A_u ,计算公式为

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

其中

$$r_{be} = 200 + (1 + \beta) 26 \text{mV} / I_E$$

若无旁路电容 C_E 时,放大器的电压放大倍数为 A'_u ,且

$$A'_u = -\beta \frac{R_C // R_L}{r_{be} + (1 + \beta) R_E}$$