


职业技术教育电类实训系列规划教材

# 家用电子产品维修工 操作技术

JIAYONG DIANZI CHANPIN WEIXIUGONG  
CAOZUO JISHU

● 主 编 方庆山  
副主编 杜江淮

 安徽科学技术出版社



职业技术教育电类实训系列规划教材

# 家用电子产品维修工 操作技术

●主 编 方庆山  
副主编 杜江淮  
参 编 朱述华 王 宾 张留忠

 安徽科学技术出版社

TM925.07  
F1

图书在版编目(CIP)数据

家用电子产品维修工操作技术/方庆山主编. —合肥:  
安徽科学技术出版社, 2008. 3

(职业技术教育电类实训系列规划教材)

ISBN 978-7-5337-3825-9

I. 家… II. 方… III. 日用电气器具-维修-职业教  
育-教材 IV. TM925.07

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 010599 号

家用电子产品维修工操作技术

方庆山 主编

出版人: 朱智润

责任编辑: 何宗华 期源萍

出版发行: 安徽科学技术出版社(合肥市政务文化新区圣泉路 1118 号  
出版传媒广场, 邮编: 230071)

电 话: (0551)3533330

网 址: www.ahstp.net

E-mail: yougoubu@sina.com

经 销: 新华书店

排 版: 安徽事达科技贸易有限公司

印 刷: 合肥晓星印刷有限责任公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 12.5 插 页: 1 页

字 数: 300 千

版 次: 2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 24.00 元

(本书如有印装质量问题,影响阅读,请向本社市场营销部调换)

内容提要

# 职业技术教育实践教材丛书

## 编审委员会

主任 乔德宝

委员 (以姓氏笔画为序)

牛宝林 吕同斌 刘培玉 邵刚

汪永华 汪业常 余承辉 杨思国

杨柳青 林春方 郭恒 曹光跃

黄炳龙 黄祥 黄道业 程周

## 内 容 提 要

本书根据劳动部颁布的《中华人民共和国职业技能鉴定规范(家用电子产品维修工)》所规定的中级工标准编写而成,主要介绍家用电子产品维修的基础知识和技能,其中包括:家电维修基础知识、音响技术、彩色电视机技术和家用录像机技术。根据职业技能鉴定的特点,全书重点放在知识、技能的实际应用上,书末附有家用电子产品维修工(中级)复习题及参考答案,供读者练习及参考。

本书可作为各职业技能鉴定站(所)家用电子产品维修工的培训教材,也可作为高职院校电子信息技术类专业及相关专业的参考书,还可供家用电子产品维修人员和爱好者阅读参考。

(职业技能鉴定教材) 员 委

编 者 王 毅 敏 吕 林 宝 中  
审 核 员 余 常 业 玉 李 木 玉  
参 考 员 曹 野 林 青 明 时  
参 考 员 黄 业 直 黄 祥 黄 武 强 黄

# 前 言

实行职业技能鉴定,推行国家职业资格证书制度,是我国人力资源开发的一项战略性措施。在国家劳动和社会保障部的大力倡导下,取得职业资格证书已经成为劳动者就业上岗的必备条件,尤其是对于高职高专、中等职业技术学院的毕业生,拥有职业资格证书更是取得毕业资格的必要条件之一。

本教材是以培训家用电子产品维修工(中级)技能鉴定达标为目的的,所以在编写时,我们严格地按照家用电子产品维修工(中级)技能鉴定标准的要求,对编写内容做了以下安排:第一章主要介绍必需掌握的基本理论知识,如模拟电路、数字电路、高频电路和单片机等方面的专业基础知识;第二章主要介绍音响技术方面的知识,包括音响各单元电路的基本原理、音响新技术和音响设备的故障检修,并列举了一部分实例;第三章主要介绍彩色电视机技术,鉴于这部分内容在许多职业学院的电子类教材中都有详细介绍,所以本教材对其基本原理只作简述,而将重点放在彩色电视机的故障检修上;第四章主要介绍家用录像机技术,包括家用录像机的基本知识和工作原理,以及录像机的组件更换、故障检修与调整。

为了区别于普通的理论教材,本教材的编写强调应知与应会相融合,以实际操作为重点。在各章内容的介绍中,首先完成各基本知识点的介绍,然后对各知识点进行延伸,对各知识点相关联的基本操作技能加以重点介绍,并辅以一定的实例,真正做到应知与应会相融合。同时根据实际教学的需要,将课程内容综合化,将模拟电路知识、数字电路知识、高频电子线路知识和单片机知识等融合在同一章中讲授,使知识与能力有机结合,避免脱节,减少重复;其次,采用了模块化的编制方法,在各章中将应知与应会分为两大部分,既有利于讲授,又有利于模块化的考核。

本教材由安徽电子信息职业技术学院方庆山老师任主编,负责全书的统稿工作,并编写了第四章以及附录部分;安徽职业技术学院杜江淮老师任副主编,并编写了第二章;安徽电子信息职业技术学院王宾老师编写了第一章的第二、四、五节,张留忠老师编写了第一章的第一、三节;安徽工业经济职业技术学院朱述华老师编写了第三章。在本书的编写、出版过程中得到了安徽科学技术出版社及安徽电子信息职业技术学院领导的关心与帮助,在此致以真诚的感谢。

由于编者水平有限,经验不足,书中疏漏之处恳请广大读者批评指正。

编 者



# 目 录

第一章 家电维修基础知识	1
第一节 直流电路	1
第二节 放大电路	5
第三节 数字电路	17
第四节 非线性电路	27
第五节 单片机简介	35
第二章 音响技术	40
第一节 组合音响电路原理	40
第二节 音响设备检修	71
第三章 彩色电视机技术	86
第一节 彩色电视机基本原理	86
第二节 彩电开关电源	94
第三节 彩电遥控系统	103
第四节 彩色电视机常见故障检修	114
第四章 家用录像机技术	135
第一节 录像机的基本原理	135
第二节 录像机电源电路	142
第三节 定时器和操作电路	144
第四节 系统控制电路	147
第五节 伺服系统	153
第六节 录像机的机械系统	159
第七节 录像机主要部件的拆装和调整方法	168
第八节 录像机故障的基本检测方法	174
附录	182
家用电子产品维修工(中级)复习题	182
复习题参考答案	192
参考文献	194

# 第一章 家电维修基础知识

## 第一节 直流电路

### 一、电路的基本概念及模型

电在日常生活、生产和科学研究工作中得到了广泛应用。在收录机、电视机、录像机、音响设备、计算机、通信系统和电力网络中都可以看到各种各样的电路。电路又称电网络,就是将一些电气器件按照一定的方式组合起来,所构成的电流的通路。电路一般包含三部分:一是提供电能的电气设备,通常称之为电源,如干电池、蓄电池、太阳能、发电机等;二是消耗电能的电气设备,通常称之为负载,如电灯、收录机、电视机、录像机等;三是连接负载和电源的中间环节,如连接导线、开关等。

如图 1-1 所示的日常生活中使用的手电筒电路,就是一个最简单的电路,它是由干电池、灯泡、开关和手电筒壳(连接导体)组成的。

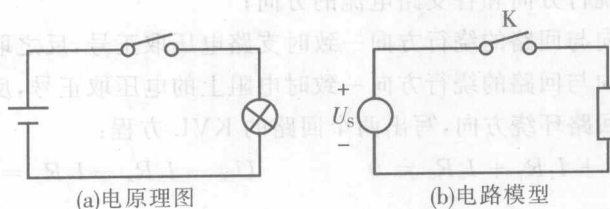


图 1-1 手电筒电路

### 二、电路的基本定律

现实生活中,人们为了了解和计算电路各部分的电流、电压及电功率之间的大小和关系,便产生了和电路相关的理论。

#### (一) 欧姆定律

我们早已熟识的欧姆定律一般是通过一个耗能元件的电流与电阻两端的电压成正比来验证的,如图 1-2 所示。

当电压、电流参考方向一致时(如图中实线所示),欧姆定律的数学表达式: $U=IR$ ;在国际单位制中,电阻的单位为 $\Omega$ 。当电压、电流参考方向不一致时(如图中虚线所示),欧姆定律的数学表达式: $U=-IR$ 。

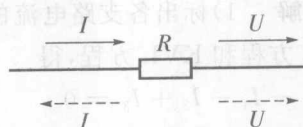


图 1-2 欧姆定律验证图

#### (二) 基尔霍夫定律

##### 1. 电路中的几个名词

(1) 支路:电路中通过同一电流的每个分支,其电压、电流分别称为支路电压、支路电流;



(2) 节点: 3 个或 3 个以上支路的连接点叫做节点;

(3) 回路: 由支路组成的闭合的路径称为回路。

### 2. 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律指出, 任何时刻, 在电路的任一节点上, 所有支路电流的代数和恒等于零, 即  $\sum I = 0$ 。基尔霍夫电流定律可简称为 KCL。对电路某节点列出 KCL 方程时, 流出该节点的电流为正号, 流入该节点的电流为负号。如图 1-3 所示电路的 A、B 节点的 KCL 方程分别为:

$$-I_1 - I_2 + I_3 = 0 \quad I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

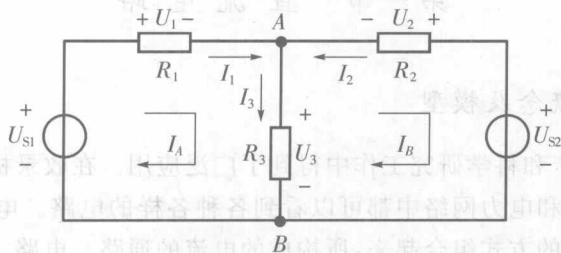


图 1-3 基尔霍夫定律验证图

### 3. 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律指出, 任何时刻, 任一闭合回路各段电压的代数和恒等于零, 即  $\sum U = 0$ 。基尔霍夫电压定律可简称为 KVL。分析、列出 KVL 方程, 可按如下方法进行:

- (1) 假定各回路的绕行方向和各支路电流的方向;
- (2) 其电压参考方向与回路的绕行方向一致时支路电压取正号, 反之取负号;
- (3) 其电流参考方向与回路的绕行方向一致时电阻上的电压取正号, 反之取负号。

根据图 1-3 所示回路环绕方向, 写出两个回路的 KVL 方程:

$$-U_{S1} + I_1 R_1 + I_3 R_3 = 0 \quad U_{S2} - I_3 R_3 - I_2 R_2 = 0$$

## 三、直流电路的基本分析方法

### (一) 支路电流分析法

支路电流分析法是最基本、最直观的电路分析方法, 它是根据基尔霍夫定律分别对节点和回路列出方程, 先求出支路的电流, 然后求得支路电压的过程。下面以图 1-3 为例介绍其基本的分析步骤。设图中  $U_{S1} = 70 \text{ V}$ ,  $U_{S2} = 45 \text{ V}$ ,  $R_1 = 20 \Omega$ ,  $R_2 = 5 \Omega$ ,  $R_3 = 6 \Omega$ 。

解 1) 标出各支路电流的参考方向和各回路的绕行方向, 根据基尔霍夫定律分别列出 KCL 方程和 KVL 方程, 得

$$-I_1 - I_2 + I_3 = 0 \quad -U_{S1} + I_1 R_1 + I_3 R_3 = 0 \quad U_{S2} - I_3 R_3 - I_2 R_2 = 0$$

2) 代入数据, 联立方程, 得

$$I_1 = 2(\text{A}) \quad I_2 = 3(\text{A}) \quad I_3 = 5(\text{A})$$

3) 根据欧姆定律求出各电阻压降, 得

$$U_1 = I_1 R_1 = 2 \times 20 = 40(\text{V}) \quad U_2 = I_2 R_2 = 3 \times 5 = 15(\text{V})$$

$$U_3 = I_3 R_3 = 5 \times 6 = 30(\text{V})$$

### (二) 节点分析法

节点分析法适用于电路节点数少、支路数多的场合。一旦求出电路中各节点相对参考点

间的电压,则各支路的电压和电流就可以很方便地求出。下面以图 1-4 为例介绍其基本步骤。设图中  $U_{S1}=15\text{ V}$ ,  $U_{S2}=30\text{ V}$ ,  $R_1=R_2=5\ \Omega$ ,  $R_3=R_4=10\ \Omega$ , 求出各支路电流。

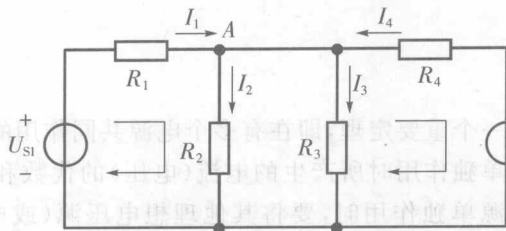


图 1-4 节点分析法例题图

解 1) 选择参考节点和参考方向: 选定电路中 B 点作为参考点, 设节点电压  $U_{AB}$  的参考方向如图所示。

2) 根据 KVL 列出包含  $U_{AB}$  的回路方程, 求节点电压  $U_{AB}$ , 得

$$U_{AB} + I_1 R_1 - U_{S1} = 0 \quad -U_{AB} - I_4 R_4 + U_{S2} = 0$$

由 KCL、欧姆定律, 得

$$I_1 - I_2 - I_3 + I_4 = 0 \quad I_2 = U_{AB}/R_2 \quad I_3 = U_{AB}/R_3$$

整理得

$$R_2 R_3 I_1 + R_2 R_3 I_4 - R_3 U_{AB} - R_2 U_{AB} = 0$$

代入数据, 求  $U_{AB}$ , 得  $U_{AB} = 10(\text{V})$

3) 求出各支路电流, 得  $I_1 = I_3 = 1(\text{A})$   $I_2 = I_4 = 2(\text{A})$

### (三) 回路分析法

当电路中有多个支路时, 用支路电流法就需要列出较多的方程, 计算也较繁琐, 而选用回路分析法就简单多了。试用回路分析法求出图 1-5 所示电路中各支路电流, 设  $U_{S1}=1\text{ V}$ ,  $U_{S2}=U_{S3}=3\text{ V}$ ,  $R_1=2\ \Omega$ ,  $R_2=5\ \Omega$ ,  $R_3=2\ \Omega$ 。

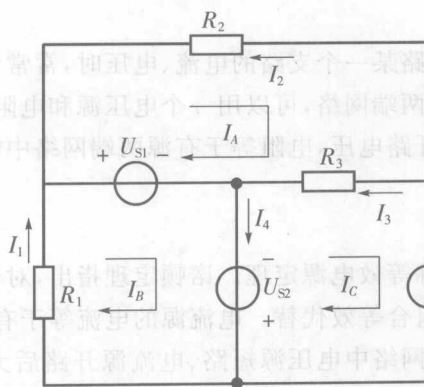


图 1-5 回路分析法例题图

解 1) 选定回路, 确定回路电流方向, 列出回路电流方程, 得

$$(R_2 + R_3) I_A - I_C R_3 - U_{S1} = 0$$

$$R_1 I_B - U_{S2} + U_{S1} = 0$$

$$-R_3 I_A + R_3 I_C + U_{S3} + U_{S2} = 0$$

代入数据, 解此方程组, 得  $I_A = -1(\text{A})$   $I_B = 1(\text{A})$   $I_C = -4(\text{A})$

2) 计算各支路的电流, 得  $I_1 = I_B = 1(\text{A})$ ,  $I_2 = -I_A = 1(\text{A})$ ,  $I_3 = I_A - I_C = 3(\text{A})$ ,  $I_4 = I_B - I_C = 5(\text{A})$

#### 四、电路的定理

##### (一) 叠加定理

叠加定理是线性电路的一个重要定理, 即在有多个电源共同作用的线性电路中, 各支路的电流(电压)等于各电源分别单独作用时所产生的电流(电压)的代数和。应用叠加定理时, 不能改变原电路结构。当某电源单独作用时, 要将其他理想电压源(或电流源)短路(或开路)。若考虑实际电源内阻, 必须保留在电路中。试用叠加定理求出图 1-6(a) 所示电路中的电流  $I_1$  和  $I_2$ , 设  $U_S = 27 \text{ V}$ ,  $I_S = 3 \text{ A}$ ,  $R_1 = 3 \Omega$ ,  $R_2 = 6 \Omega$ ,  $R_3 = 4 \Omega$ 。

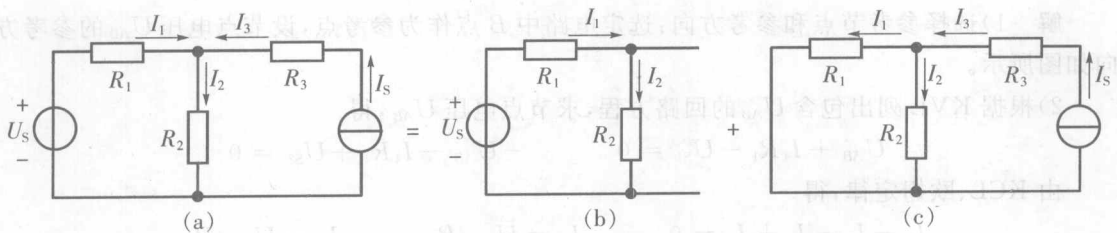


图 1-6 叠加定理例题图

解 1) 电压源  $U_S$  单独作用时, 如图 1-6(b) 所示, 由 KVL 得

$$I'_1 = I'_2 = U_S / (R_1 + R_2) = 3(\text{A})$$

2) 电流源  $I_S$  单独作用时, 如图 1-6(c) 所示, 由于  $I_3 = I_S$ , 根据分流电路公式得

$$I''_1 = R_1 I_S / (R_1 + R_2) = 2(\text{A}) \quad I''_2 = R_1 I_S / (R_1 + R_2) = 1(\text{A})$$

3) 求出各独立源单独作用下所产生电流的代数和:

$$I_1 = I'_1 - I''_1 = 1(\text{A}) \quad I_2 = I'_2 + I''_2 = 4(\text{A})$$

##### (二) 戴维南定理

在实际应用中, 需要分析电路某一个支路的电流、电压时, 常常利用戴维南定理进行求解。戴维南定理指出, 对于线性有源两端网络, 可以用一个电压源和电阻串联组合等效代替。电压源的电压等于有源两端网络的开路电压, 电阻等于有源两端网络中电压源短路、电流源开路后无源两端网络的等效电阻。

##### (三) 诺顿定理

戴维南定理和诺顿定理总称等效电源定理。诺顿定理指出, 对于有源线性电阻两端网络, 可以用一个电流源和电阻并联组合等效代替。电流源的电流等于有源线性电阻两端网络从外部短路时的端口电流, 电阻等于网络中电压源短路、电流源开路后无源两端网络的等效电阻。试用戴维南定理和诺顿定理求出图 1-7 所示电路中  $R_3$  的电流  $I_3$ , 设  $U_{S1} = 14 \text{ V}$ ,  $U_{S2} = 2 \text{ V}$ ,  $R_1 = 2 \Omega$ ,  $R_2 = 3 \Omega$ ,  $R_3 = 8 \Omega$ 。

解 1) 求  $U_{OC}$ , 断开  $R_3$ , 设  $U_{OC}$  参考方向由上到下, 如图 1-7(b) 所示, 由 KVL 得

$$U_{OC} = [(U_{S1} - U_{S2})R_2 / (R_1 + R_2)] + U_{S2} = 9.2(\text{V})$$

2) 求  $I_{SC}$ , 断开  $R_3$ , 设  $I_{SC}$  参考方向由上到下, 如图 1-7(c) 所示, 由 KCL、KVL 得

$$I_{SC} = I_1 + I_2 = 23/3(\text{A})$$

3) 求  $R_0$ , 除源后对应无源二端网络的等效电阻如图 1-7(d) 所示, 得

$$R_0 = (R_1 \times R_2) / (R_1 + R_2) = 6/5(\Omega)$$

4) 根据  $U_{oc}$ 、 $I_{sc}$ 、 $R_0$  求得值可得到图 1-7(e) 的戴维南等效电路和图 1-7(f) 的诺顿等效电路, 求得

$$I_3 = U_{oc} / (R_3 + R_0) = 1(A) \quad \text{或} \quad I_3 = (R_0 I_{sc}) / (R_3 + R_0) = 1(A)$$

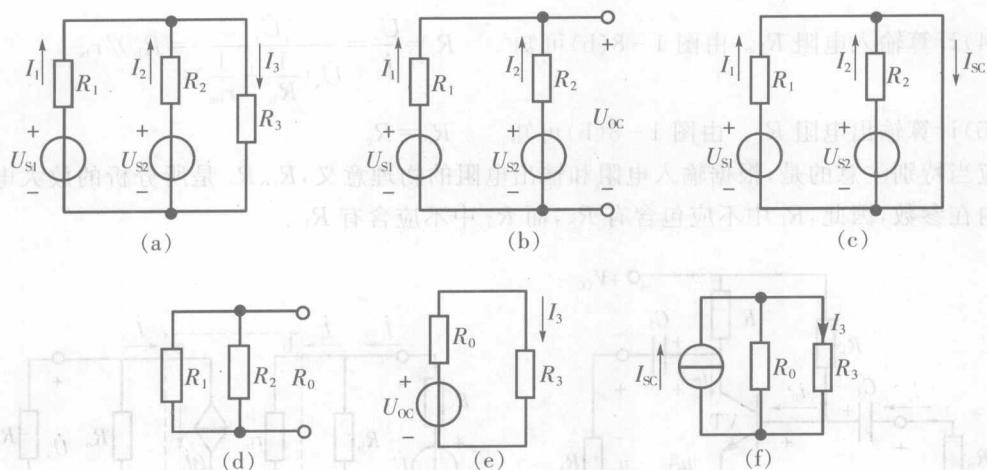


图 1-7 戴维南定理和诺顿定理例题图

## 第二节 放大电路

### 一、基本放大电路

根据放大电路输入回路和输出回路公共端的不同, 有共射极放大电路、共集电极放大电路、共基极放大电路三种组态, 下面分别予以讨论。

#### (一) 基本共射极放大电路

##### 1. 放大电路的基本分析方法

放大电路工作状态的分析就是求解其静态工作点参数(静态分析)和各项动态性能指标参数(动态分析)的过程。通常遵循“先静态, 后动态”的原则, 因为, 只有静态工作点合适, 电路没有产生失真, 动态分析才有意义。所采用的基本分析方法有图解分析法和微变等效电路模型(简称微变等效电路)分析法, 这里介绍小信号微变等效电路模型分析法。

##### 2. 固定偏流共射极放大电路

图 1-8(a)、(b) 分别是固定偏流共射极放大电路和其小信号微变等效电路。

现以图 1-8 所示电路为例, 用微变等效电路法分析小信号共射极放大电路。

(1) 静态工作点  $Q$ 。由图 1-8(a) 进行静态分析可知。

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_b} \quad I_{CQ} = \beta I_{BQ} \approx I_{EQ} \quad U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} R_c$$

(2) 确定  $\beta$  和  $r_{be}$ 。在小信号模型中,  $\beta$  是常数, 工程上可以通过测量相关数据后估算出, 也可以从器件手册中查到, 但通常是已知的, 由题目给出。 $r_{be}$  的数值, 是在静态分析的基础上, 先求出  $I_{BQ}$  (或  $I_{EQ}$  或  $I_{CQ}$ ) 后估算求得, 即  $r_{be} = r'_{bb} + (1 + \beta) \frac{26(mV)}{I_E(mA)}$ 。

(3) 计算电压放大倍数  $\dot{A}_u$ 。由图 1-8(b) 可知  $\dot{U}_i = \dot{I}_b r_{be}$ ,  $\dot{U}_o = -\dot{I}_c R'_L = -\beta \dot{I}_b R'_L$ , 电压放大倍数  $\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-\beta \dot{I}_b R'_L}{\dot{I}_b r_{be}} = \frac{-\beta R'_L}{r_{be}}$ ,  $\dot{A}_{us} = \dot{A}_u \frac{R_i}{R_s + R_i}$ 。式中, 负号表示共射极放大电路的输出电压与输入电压的相位相反。

(4) 计算输入电阻  $R_i$ 。由图 1-8(b) 可知  $R_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i} = \frac{\dot{U}_i}{\dot{U}_i (\frac{1}{R_b} + \frac{1}{r_{be}})} = R_b // r_{be}$

(5) 计算输出电阻  $R_o$ 。由图 1-8(b) 可知  $R_o = R_c$

应当特别注意的是, 根据输入电阻和输出电阻的物理意义,  $R_i$ 、 $R_o$  是所分析的放大电路自身的内在参数, 因此,  $R_i$  中不应包含有  $R_s$ , 而  $R_o$  中不应含有  $R_L$ 。

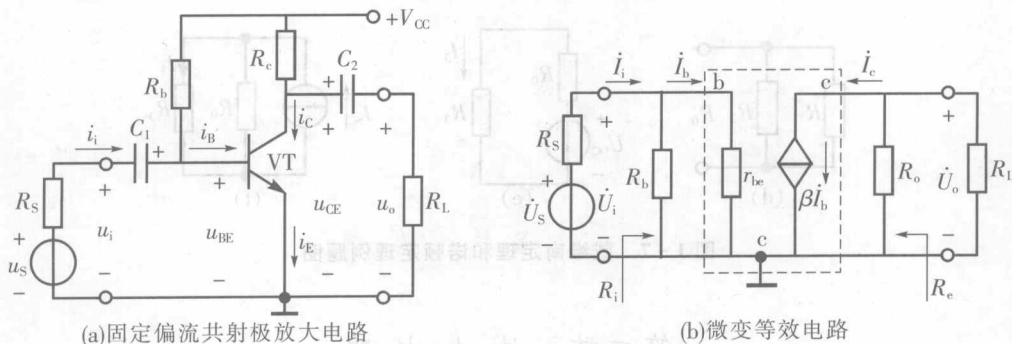


图 1-8 共射极放大电路

### 3. 分压式偏置共射极放大电路

图 1-9 所示电路为典型的采用直流负反馈的基极分压式静态工作点稳定的共射极放大电路。

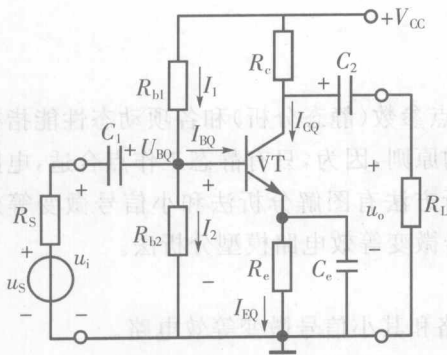


图 1-9 分压式工作点稳定的共射极放大电路

(1) 电路组成和静态工作点稳定的工作原理。由图 1-9 不难看出, 此电路与前面介绍的基本共射极放大电路的差别, 在于发射极接有对  $I_{CQ}$  具有自动调节作用的直流反馈电阻  $R_e$  和交流旁路电容  $C_e$ ; 另外, 直流电源  $V_{CC}$  经电阻  $R_{b1}$ 、 $R_{b2}$  分压后接到三极管的基极, 所以通常称为基极分压式静态工作点稳定的共射极放大电路。在静态工作点稳定的过程中,  $R_e$  起着重要的作用, 当  $I_{CQ}$  随温度变化时, 电阻  $R_e$  上的取样电压亦随之变化, 并使  $U_{BEQ}$  随之变化, 从而使  $I_{BQ}$  向相反的方向变化, 最后达到了稳定静态工

作点的目的。这种将输出量 ( $I_{CQ}$ ) 通过既处于输出回路又处于输入回路中的电阻  $R_e$ , 馈送回输入回路来影响输入量 ( $U_{BEQ}$ ) 的方法称为反馈。由于反馈的结果使输入量的变化减小, 故称为负反馈; 又由于反馈的是直流量 (交流量由旁路电容  $C_e$  旁路), 故称为直流负反馈。  $R_e$  称为直流负反馈电阻。

(2) 静态工作点的估算。在  $I_1 \gg I_{BQ}$  的条件下有:

$$U_{BQ} \approx \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} \cdot V_{CC} \quad I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_e} \approx \frac{U_{BQ}}{R_e}$$

$$U_{CEQ} \approx V_{CC} - I_{CQ}(R_c + R_e) \quad I_{BQ} = \frac{I_{EQ}}{1 + \beta}$$

(3) 动态参数的估算。图 1-9 所示电路的交流小信号微变等效电路如图 1-10 所示。电容  $C_c$  为旁路电容, 容量较大, 对交流信号可视为短路。若将  $R_{b1} // R_{b2}$  看成是一个电阻  $R_b$ , 因此,  $A_u = -\beta R'_L / r_{be}$  ( $R'_L = R_c // R_L$ );  $R_i = R_b // r_{be} = R_{b1} // R_{b2} // r_{be}$ ;  $R_o = R_c$ 。

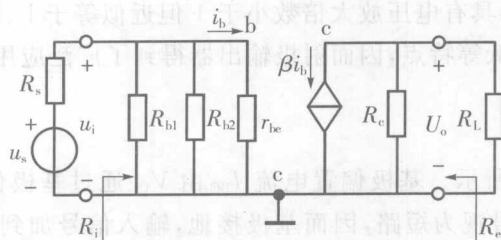


图 1-10 交流等效电路

## (二) 共集电极放大电路

### 1. 电路组成

共集电极放大电路是从发射极输出的, 所以又称射极输出器, 如图 1-11 所示。这种电路的特点是晶体管的集电极作为输入输出的公共端, 输入电压从基极对地(集电极)之间输入, 输出电压从发射极对地(集电极)之间输出, 集电极是输入与输出的公共端, 故这种电路称为共集电极放大电路。

### 2. 电路分析

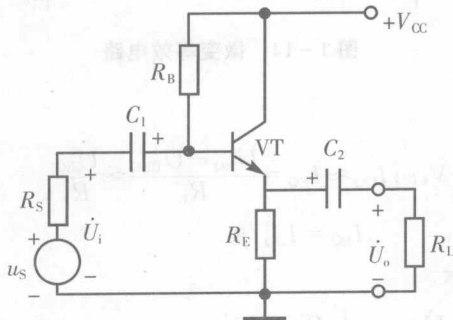


图 1-11 共集电极放大电路

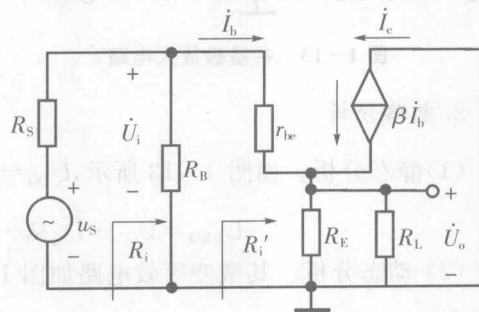


图 1-12 微变等效电路

(1) 静态分析。由图 1-11 可得

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - U_{BEQ}}{R_B + (1 + \beta)R_E} \approx \frac{V_{CC}}{R_B + (1 + \beta)R_E}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} \approx I_{EQ}$$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{EQ}R_E \approx V_{CC} - I_{CQ}R_E$$

(2) 动态分析。微变等效电路如图 1-12 所示。

① 电压放大倍数  $\dot{A}_u$ 。  $\dot{U}_i = \dot{i}_b r_{be} + \dot{i}_c R'_L = \dot{i}_b r_{be} + (1 + \beta) \dot{i}_b R'_L$ ,  $R'_L = R_E // R_L$

$$\dot{U}_o = \dot{i}_c R'_L = (1 + \beta) \dot{i}_b R'_L \quad \text{故} \quad \dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{(1 + \beta) R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R'_L} \approx \frac{\beta R'_L}{r_{be} + \beta R'_L} < 1$$

$r_{be} \ll \beta R'_L$ , 因此,  $\dot{A}_u$  小于 1 但近似等于 1, 即  $\dot{U}_o$  略小于  $\dot{U}_i$ , 电路没有电压放大作用。又



$i_e = (1 + \beta)i_b$ , 故电路有电流放大和功率放大作用。此外,  $\dot{U}_o$  跟随  $\dot{U}_i$  变化, 故这个电路又称为射极跟随器。

② 输入电阻  $R_i$ 。由图 1-12 可知  $R_i = R_B // [r_{be} + (1 + \beta)R'_L]$ 。由此可见, 射极输出器的输入电阻要比共发射极放大电路的输入电阻大得多, 可达到几十千欧到几百千欧。

③ 输出电阻。  $R_o \approx \frac{R'_S + r_{be}}{1 + \beta}$ , 其中  $R'_S = R_B // R_S$ 。由此可见输出电阻很低, 一般在几十欧到几百欧。为了降低  $R_o$ , 应选较大  $\beta$  的晶体管。

综上所述, 射极输出器具有电压放大倍数小于 1 但近似等于 1、输出电压与输入电压同相位、输入电阻高、输出电阻低等特点, 因而射极输出器得到了广泛应用。

### (三) 共基极放大电路

#### 1. 电路组成

电路组成如图 1-13 所示。基极偏置电流  $I_{BQ}$  由  $V_{CC}$  通过基极偏流电阻  $R_{B1}$  和  $R_{B2}$  提供。 $C_B$  为旁路电容, 对交流信号视为短路, 因而基极接地, 输入信号加到发射极和基极之间, 使放大倍数不至于因  $R_{B1}$  和  $R_{B2}$  的存在而下降。输出信号取自集电极和基极之间, 基极是输入回路和输出回路的公共端, 故称为共基极放大电路。

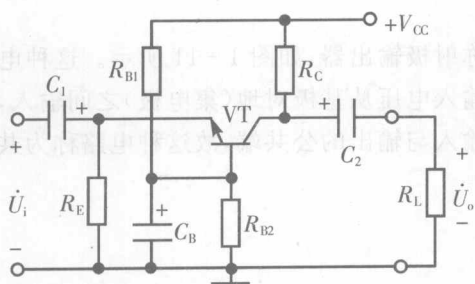


图 1-13 共基极放大电路

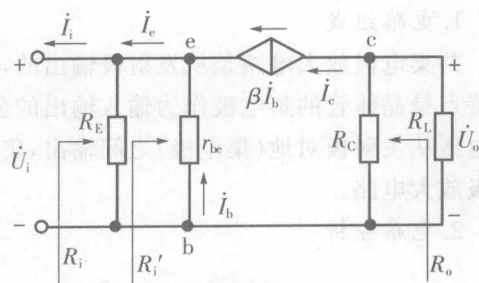


图 1-14 微变等效电路

#### 2. 电路分析

(1) 静态分析。如图 1-13 所示,  $U_{BQ} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC}$ ;  $I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{U_{BQ} - U_{BEQ}}{R_E} \approx \frac{U_{BQ}}{R_E}$

$$U_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_C - I_{EQ}R_E \quad I_{BQ} = I_{CQ}/\beta$$

(2) 动态分析。其微变等效电路如图 1-14 所示。

① 电压放大倍数  $\dot{A}_u$ 。由图 1-14 可得  $\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{-\dot{I}_c R'_L}{-\dot{I}_b r_{be}} = \frac{\beta R'_L}{r_{be}}$

可见, 共基极电路与共射极电路的电压放大倍数在数值上相同, 只差一个负号。

② 输入电阻。由图 1-14 可得

$$R'_i = \frac{\dot{U}_i}{-\dot{I}_e} = \frac{-\dot{I}_b r_{be}}{-(1 + \beta)\dot{I}_b} = \frac{r_{be}}{1 + \beta} \quad R_i = R_E // R'_i \approx \frac{r_{be}}{1 + \beta}$$

可见, 输入电阻减小为共射极电路的  $1/(1 + \beta)$ , 一般很低, 为几欧至几十欧。

③ 输出电阻。  $R_o = r_{ce} // R_C \approx R_C$

可见, 输出电阻和共射极电路一样。

## 二、多级放大电路

一般的放大器都是由几级放大电路组成,能对输入信号进行逐级接力式的连续放大,以便获得足够的输出功率去推动负载工作,这就是多级放大器。其中,接入信号的为第一级,接着的为第二级,直至末级。前级是后级的信号源,后级是前级的负载。多级放大器内部相邻两级之间的信号传递叫耦合,实现级间耦合的电路叫耦合电路。

### (一) 多级放大器的耦合方式

多级放大器级间耦合方式一般有阻容耦合、变压器耦合和直接耦合三种,下面分别对这三种耦合方式进行简单介绍。

#### 1. 阻容耦合方式

阻容耦合方式已在单级放大电路中作了介绍,实际上它是通过电容和后级的输入电阻(或负载)实现前后级的耦合,所以称为阻容耦合。如图 1-15 所示是两级放大电路,可把它分为四部分:信号源、第一级放大电路、第二级放大电路和负载。信号通过电容  $C_1$  与第一级输入电阻相连,第二级通过  $C_3$  与负载  $R_L$  相连。

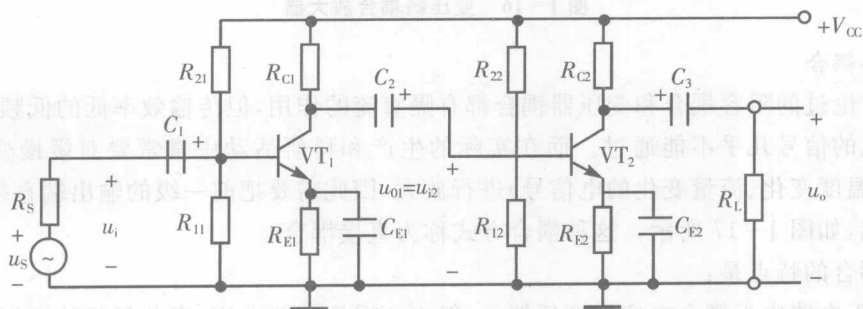


图 1-15 阻容耦合放大电路

阻容耦合电路的特点:

(1)阻容耦合有结构简单、体积小、成本低、频率特性较好等优点,特别是耦合电容具“隔直通交”的作用,各级工作点彼此独立,可分别单独计算;只要耦合电容量足够大,一定频率范围内的前级信号几乎可无损失地传送到后一级,所以阻容耦合得到广泛应用。

(2)由于耦合电容不能传送缓慢变化的信号和直流信号,因此这种电路只能放大频率不太低的交流信号,而不能放大缓慢变化的信号和直流信号,故又称为交流放大器。

(3)由于在集成电路中制造大电容很困难,因此集成电路中不采用阻容耦合方式,它常用于分立元件电路中。

#### 2. 变压器耦合

图 1-16 所示电路是变压器耦合放大器。它的输入电路是阻容耦合,而第一级的输出是通过变压器与第二级的输入相连的,第二级的输出也是通过变压器与负载相连的,这种级间通过变压器相连的耦合方式称为变压器耦合放大器。

变压器耦合的特点:

(1)变压器隔断了直流,故各级工作点相互独立,可分别单独计算。

(2)变压器是通过磁耦合传输交流信号的,同时还起到阻抗变换的作用。

(3)变压器耦合不足的方面是:体积大、笨重、成本较高,另外频率特性也不够好,只能用于

交流放大电路中。在功率输出电路中已逐步被无变压器的输出电路所代替。由于变压器不能集成,故在集成电路中不采用变压器耦合。但在高频放大,特别是选频放大电路中,变压器耦合仍具有特殊的地位。

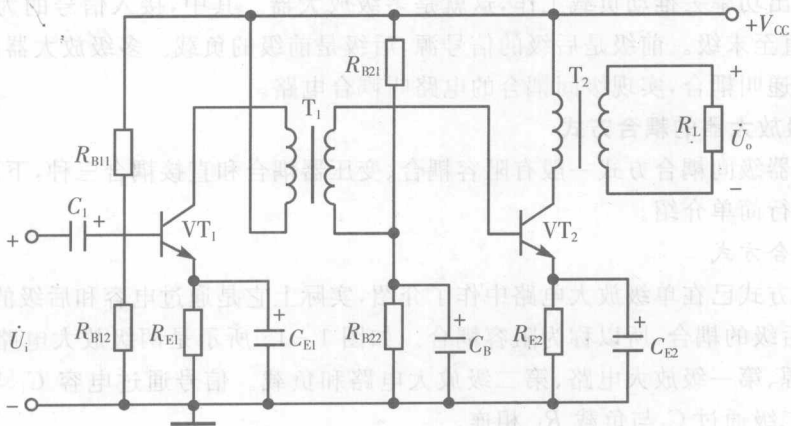


图 1-16 变压器耦合放大器

### 3. 直接耦合

前面讨论过的阻容耦合和变压器耦合都有隔直流的作用,但传输效率低的低频信号,特别是缓慢变化的信号几乎不能通过。而在实际的生产和科研活动中常常要对缓慢变化的信号(例如反映温度变化、流量变化的电信号)进行放大,因此需要把前一级的输出端直接接到下一级的输入端,如图 1-17 所示。这种耦合方式称为直接耦合。

直接耦合的特点是:

- (1) 由于电路中无耦合电容和变压器,一般也不采用旁路电容,因此低频特性好,可以放大缓慢变化甚至零频的直流信号,故又称为直流放大器(当然也可以放大交流信号)。
- (2) 由于电路中只有半导体管和电阻,便于集成,故集成电路中都采用直接耦合方式。
- (3) 由于没有隔直元件,故各级的工作点相互影响,需要合理地安排各级的直流电平,使它们之间能正确配合。
- (4) 存在零点漂移现象。直接耦合放大电路在输入端短路时,输出端的直流电位出现缓慢变化的现象,称为零点漂移,简称零漂。

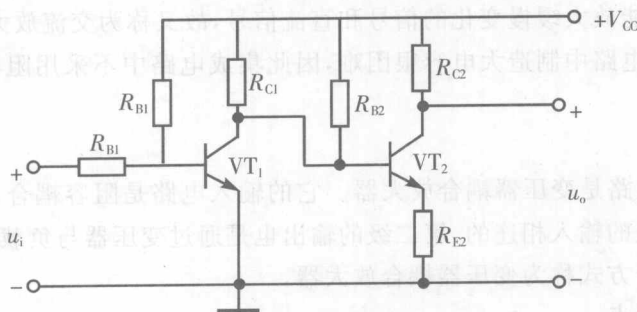


图 1-17 直接耦合放大电路

### (二) 多级放大器的分析

因为多级放大器是多级串联、逐级连续放大的,所以总的电压放大倍数是各级放大倍数的