



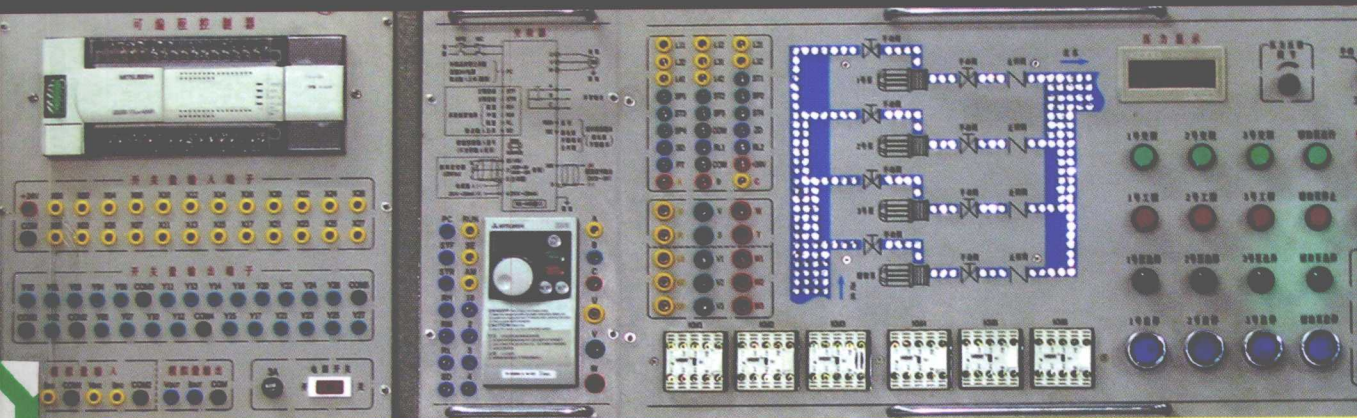
机电类技师鉴定培训教材

维修电工技师 鉴定培训教材

WEIXIU DIANGONG JISHI JIANDING PEIXUN JIAOCAI

机电类技师鉴定培训教材编审委员会组织编写

姜平 主编



- ◆ 汲取首套技师培训教材精华
- ◆ 紧扣职业技能鉴定考核要求
- ◆ 包含教材题库答案模拟试卷
- ◆ 注重分析解决问题能力提升



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



机电类技师鉴定培训教材

维修电工技师鉴定培训教材

机电类技师鉴定培训教材编审委员会组织编写

姜 平 主编



机械工业出版社

本书是依据《国家职业标准》维修电工技师的知识要求，紧扣职业技能鉴定培训的需要编写的。本书的主要内容包括：电子技术基础、电机、晶闸管变流技术、电动机调速系统、传感器技术基础、单片微型计算机技术、可编程控制器、机床数控技术。每章末有复习思考题，书末附有与之配套的试题库和答案，以便于企业培训、考核鉴定和读者自测自查。

本教材既适合各级职业技能鉴定培训机构、企业培训部门、技师学院作为技师鉴定的考前培训教材，又可作为读者考前复习和自测使用的复习用书，也可供职业技能鉴定部门在技师鉴定命题时参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

维修电工技师鉴定培训教材/姜平主编. —北京：机械工业出版社，2009.7

机电类技师鉴定培训教材

ISBN 978-7-111-27547-3

I. 维... II. 姜... III. 电工—维修—职业技能鉴定—教材
IV. TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 114521 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：荆宏智 邓振飞 责任编辑：王振国

责任校对：樊钟英 封面设计：王伟光

责任印制：李妍

北京振兴源印务有限公司印刷

2009 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 27.25 印张 · 672 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-27547-3

定价：46.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
销售服务热线电话：(010) 68326294

购书热线电话：(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：(010) 88379080

封面防伪标均为盗版

机电类技师鉴定培训教材

编审委员会

主任 郝广发

副主任 季连海 刘亚琴 徐 彤 吴茂林 施 斌 荆宏智

委员 (按姓氏笔画排序)

王平凡 王江宁 毛永年 尹子文 邓振飞 刘光虎

刘海涛 许顺生 朱为国 李 超 李世和 李援瑛

吴元徽 谷育红 陆根奎 陆文龙 张凯良 周泽祺

姜 平 贾恒旦 徐佩兰 殷作禄 梅建强 崔静波

谢中南 谢 剑 董桂桥 瞿云才

《维修电工技师鉴定培训教材》

编审人员

主 编 姜 平

主 审 叶 猛

参 审 沈 峰 徐永祥

特聘审定专家 董桂桥

序

技师是技术工人队伍中的高技能人才,是我国人才队伍的重要组成部分,是各行各业产业大军的骨干,在加快产业优化升级、提高企业竞争力、推动技术创新和科技成果转化等方面具有不可替代的重要作用。而随着我国逐渐成为“世界制造业中心”进程的加快,高技能人才的总量、结构和素质还不能适应经济社会发展的需要,特别是在制造、加工等传统产业领域,高技能人才严重短缺,已成为制约经济社会持续发展和阻碍产业升级的“瓶颈”,企业迫切需要掌握真才实学的高技能人才。

为此,中共中央办公厅、国务院办公厅发布了《关于进一步加强高技能人才工作的意见》,提出高技能人才工作的目标任务是,加快培养一大批数量充足、结构合理、素质优良的技术技能型、复合技能型和知识技能型高技能人才,逐步形成与经济社会发展相适应的高、中、初级技能劳动者比例结构基本合理的格局。到“十一五”期末,高级技工水平以上的高技能人才占技能劳动者的比例达到25%以上,其中技师、高级技师占技能劳动者的比例达到5%以上,并带动中、初级技能劳动者队伍梯次发展。劳动和社会保障部也相应提出了《新技师培养带动计划》,计划在完成“三年五十万”新技师培养计划的基础上,力争“十一五”期间在全国培养新技师和高级技师190万名。

大力加强高技能人才的培养工作,除需要加强高技能人才培养模式的研究和师资队伍建设外,还需要开发出有技师培养特色的实用教材。但由于技师培养模式多样,教材编写难度大,因此市面上这样的教材实在难寻,我们原来组织出版的“机械工业技师考评培训教材”也已显龙钟之态。

为更好地为行业服务,满足行业技师鉴定培训的需要,我们经过充分调研,决定对我们2001年组织出版的国内机械行业首套技师培训教材“机械工业技师考评培训教材”的进行重新编定,并定名为“机电类技师鉴定培训教材”。

原来的“机械工业技师考评培训教材”是为配合技师评聘工作的开展,满足机械行业对工人技师培训和考评的需要,在没有《国家职业标准》的情况下,根据到各地调研了解的需求情况,为填补市场空白而编写的。教材出版后,以其独树一帜、适应需求、内容实用、针对性强等特点,受到全国各级技师培训、鉴定部门的欢迎,在市面上没有别的版本技师培训教材的情况下,成为各级技师培训、鉴定部门的不二选择,许多地方均是采用那套教材作为技师培训和鉴定用教材,那套教材也因此成为技师培训和鉴定的品牌教材。

新版“机电类技师鉴定培训教材”按劳动和社会保障部颁发的《国家职业标准》中对技师的要求,根据各地技能鉴定部门、企业、学校对技师能力的要求和培训培养模式,采用模块化的形式进行编写,并在汲取首套技师培训教材精华的基础上,在以下几方面做了改进:

在模块设置上,除专业模块外,设置公共基础模块和专业基础模块。

公共基础模块包括《公共基础知识》、《技师论文写作·点评·答辩指导》,是本次新增

模块,它是《国家职业标准》中对各工种技师的共同要求,适用于所有工种。内容包括:职业道德,职业培训指导,生产管理、质量管理、安全生产和通用的四新知识,以及技师论文写作、点评与答辩内容。

专业基础模块包括《机械制图与零件测绘》、《机械基础与现代制造技术》、《金属材料与加工工艺》和《电工与电子基础》四种。《机械制图与零件测绘》中删减了基础的内容,重点加入了测绘方面的内容。《机械基础与现代制造技术》中增加了液气压故障诊断与排除、数控技术方面的内容。《金属材料与加工工艺》、《电工与电子基础》的内容也进行了相应的更新。

在工种选择上,增加了近几年需求量较大的数控车工、数控铣工、模具工,并按新的《国家职业标准》规范了部分工种的名称,需求量较小的工种本次暂不重编。新版教材共包括车工、铣工、钳工、机修钳工、模具工、汽车修理工、制冷设备维修工、铸造工、焊工、冷作钣金工、热处理工、涂装工、维修电工、电工、数控车工、数控铣工16个机电行业主要工种。

在编写依据上,基础课教材以劳动和社会保障部最新颁布的《国家职业标准》相关工种技师知识要求中的通用部分为依据,专业工种教材则以该工种技师知识要求中的专用部分为依据,紧扣职业技能鉴定培训需要的原则编写。对没有国家职业标准,但社会需求量大且已单独培训和考核的职业,则以相关国家职业标准和有关地方鉴定标准和要求为依据编写。

在内容安排上,每本教材仍包括两大部分内容:第一部分为培训教材,第二部分为试题库和答案,试题库后还附有考核试卷样例。

教材部分按复习指导的性质编写,根据技师的定位,按相关工作内容和知识安排章、节,提炼应重点培训和复习的内容,同时对技能方面提出要求。每章的章首有培训目标、章末附有针对本章内容的复习思考题。全书重点加强了高难度生产加工,复杂设备的安装、调试和维修,技术质量难题的分析和解决,复杂工艺的编制,故障诊断与排除等几方面内容。

书末附有本工种技师考核鉴定的试题库和答案,以及便于自检自测的模拟试卷。我们对原试题库中的经典内容进行了精选和保留,补充增加了最新的职业技能鉴定试题、全国及部分省市和行业的大赛试题,使得试题更具典型性、代表性、通用性和实用性。

综上所述,新版技师鉴定培训教材的特色如下:

- 汲取首套技师培训教材精华——保留了首套技师培训教材的经典内容,考虑了现阶段企业和市场的需要,更新了教材和题库内容,加强了论文写作和答辩内容。
- 依据国家职业标准要求编写——以《国家职业标准》中对技师的要求为依据,以便于培训为前提,提炼应重点培训和复习的内容,同时提出对技能方面的要求。
- 紧扣职业技能鉴定考核要求——按复习指导的性质编写,教材中的知识点紧扣《国家职业标准》和职业技能鉴定考核的要求,适合考前2~3个月短期培训使用。
- 包含教材题库答案模拟试卷——分公共基础、专业基础和专业模块。每部分培训目标、复习思考题、培训内容、试题库、答案、技能鉴定模拟试卷样例齐全。
- 注重分析解决问题能力提升——加强了高难度生产加工,复杂设备的安装、调试和维修,技术质量难题的分析和解决,复杂工艺的编制,故障诊断与排除等方面的内容。

新版教材在编写过程中力求突出“新”字,做到“知识新、工艺新、技术新、设备新、标准新”;使教材更具先进性,内容更加实用。全套教材既适合各级职业技能鉴定培训机

构、企业培训部门作为技师鉴定的考前培训教材,又可作为读者考前复习和自测使用的复习用书,也可供职业技能鉴定部门在技师鉴定命题时参考。

在本套教材的调研、策划、编写过程中,曾经得到许多企业、鉴定培训机构有关领导、专家、工程技术人员、技师和高级技师的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢!

虽然我们在编写这套技师培训教材中尽了很大努力,但教材中难免存在不足之处,诚恳地希望专家和广大读者批评指正。

机电类技师鉴定培训教材编审委员会

第一章 电工基础知识
第一节 电工安全
第二节 电工工具
第三节 电工材料
第四节 电工仪表
第五节 电工照明
第六节 电工识图
第七节 电工制图
第八节 电工计算

第二章 电动机
第一节 直流电动机
第二节 交流电动机
第三节 特种电动机
第四节 电动机控制
第五节 电动机检修

第三章 变压器
第一节 变压器的原理
第二节 变压器的结构
第三节 变压器的运行
第四节 变压器的检修

第四章 互感器
第一节 电压互感器
第二节 电流互感器

第五章 继电器
第一节 继电器的原理
第二节 继电器的结构
第三节 继电器的运行
第四节 继电器的检修

第六章 变频器
第一节 变频器的原理
第二节 变频器的结构
第三节 变频器的运行
第四节 变频器的检修

前 言

随着《国家职业标准维修电工》的颁布和工业生产中电气设备新技术的不断发展,为了更好地适应技师培训和鉴定新形势的要求,本书在内容上力求简明精练、通俗易懂、实用性和通用性强,努力保持理论知识具有一定的系统性,以满足全国各地技师培训和职业技能鉴定的需要。

本书内容较为丰富,编排上详略得当,既便于组织集体培训,也易于个人自学。它不仅可以用作维修电工技师鉴定培训教材,也可作为维修电工高级技师鉴定培训和高技能人才培训的参考教材。使用本书时,各地可以根据各自的技师、高级技师培训和职业技能鉴定的具体情况,对培训内容进行适当的增减。

本书由姜平先生任主编,由叶猛先生任主审,沈峰、徐永祥两位先生参加了审稿。在编写过程中,得到了许多企业和读者的关心和帮助,也参考了大量的书籍和资料,在此一并致谢。

维修电工是理论与操作技能并重的一个特殊工种,在其实际操作中离不开理论知识的指导,因此学习和掌握丰富的理论知识,坚持理论联系实际,培养一定的逻辑判断和思维能力,提高实际操作技能水平,对每一位维修电工来说是至关重要的。为此,我们希望本书能满足广大读者的需求,给广大读者带来帮助,成为大家的良师益友,并衷心感谢广大读者对本书的厚爱。

由于本书内容较多,涉及面较广,加之作者水平有限,因此教材中难免存在不足和错误,恳请专家和广大读者批评指正。

编 者

目

contents

录

序	
前言	
第一章 电子技术基础	1
第一节 模拟电子电路	1
第二节 数字电子电路	13
第三节 电力电子器件	28
第四节 EWB 电路仿真软件使用入门	34
复习思考题	45
第二章 电机	47
第一节 直流电机	47
第二节 交流电机	57
第三节 测速发电机	63
第四节 旋转变压器	68
第五节 伺服电动机	73
第六节 步进电动机	78
复习思考题	82
第三章 晶闸管变流技术	84
第一节 可控整流电路	84
第二节 斩波器与交流调压器	92
第三节 逆变电路	96
第四节 晶闸管中频电源装置及其调试	107
复习思考题	113
第四章 电动机调速系统	114
第一节 自动控制系统的 基本知识	114
第二节 电动机调速系统概述	121
第三节 有静差直流自动 调速系统	125
第四节 无静差直流自动 调速系统	131
第五节 可逆直流调速系统	135
第六节 绕线转子异步电动机串级 调速系统	145
第七节 异步电动机变频 调速系统	149
第八节 通用变频器的使用	157
复习思考题	170
第五章 传感器技术基础	172
第一节 概述	172
第二节 常用传感器	177
第三节 传感器应用技术	196
复习思考题	201
第六章 单片微型计算机技术	203
第一节 MCS—51 系列单片机 概述	203
第二节 MCS—51 系列单片机的 指令系统与汇编语言 程序	218
第三节 单片机系统及扩展 与接口技术	230
复习思考题	244
第七章 可编程序控制器	245
第一节 概述	245
第二节 FX _{2N} 系列 PLC 简介	251

第三节 PLC 的程序设计	266	二、选择题.....	344
第四节 PLC 的应用	275	试题 (344) 答案 (386)	
第五节 PLC 编程器及编程软件的 基本使用方法	282	三、计算题.....	371
复习思考题.....	289	试题 (371) 答案 (387)	
第八章 机床数控技术	291	四、简答题.....	375
第一节 概述.....	291	试题 (375) 答案 (396)	
第二节 插补原理.....	299	五、读图与作图题.....	378
第三节 数控机床的位置 检测装置.....	305	试题 (378) 答案 (405)	
第四节 数控机床的伺服驱动 系统.....	315	模拟试卷样例	381
第五节 经济型数控系统简介.....	321	附录	410
复习思考题.....	326	附录 A 三菱 FR—E540 系列通用 变频器参数.....	410
试题库	328	附录 B MCS—51 系列单片机指令 系统分类.....	414
一、判断题.....	328	附录 C 三菱 FX _{2N} 系列可编程序控制器 功能指令.....	418
试题 (328) 答案 (385)		参考文献	422

第一章 电子技术基础

【培训目标】 本章应重点掌握各种典型电子电路的功能、工作原理、性能指标及相关应用知识；掌握电力电子器件的分类、工作原理、特性和主要参数及其使用与保护知识；掌握 EWB 电路仿真软件的基本使用方法；培养和提高分析、排除电子电路故障的能力。

电子技术是有关电子器件、电子电路及其应用的技术科学。电子电路中的电信号有两大类：模拟信号和数字信号。所谓模拟信号，是指模拟各种物理量及其实际变化的电压和电流。模拟信号在时间上和幅度上都是连续变化的，其波形是平滑的。而所谓数字信号，则是指在时间上和幅度上是离散的、不连续的电压和电流。电子电路根据其工作信号的不同，可分为模拟电子电路和数字电子电路两大类。随着半导体制造技术的不断发展，电子技术又产生了新的分支——电力电子技术。电力电子技术是以各种大功率的电力电子器件为核心，并应用于电力技术领域的电子技术。在工业上应用的各种电子电路，都是根据现场实际需要，对一些典型电子电路进行有目的的选择、组合、改进而来的，因此掌握电子技术，首先必须掌握各种电子元器件的主要特性及其各种典型的电子电路。本章简明归纳和总结了常见的各种典型电子电路，并对其中某些电路进行了较为详细的介绍和分析，还介绍了可以用于帮助大家学习、理解和应用电子电路的计算机应用软件——EWB 电路仿真软件及其使用知识。

第一节 模拟电子电路

模拟电子电路，通常包括放大、运算、滤波、比较、波形变换、功率放大、稳压等电路，其常用的电子器件，有二极管、稳压二极管、晶体管、场效应晶体管和各種模拟集成电路（如集成运算放大器、集成比较器、集成功率放大器、集成稳压器等）。各种模拟电子电路，具有各自的电路功能，均有其相应的应用场合。

一、晶体管放大电路

晶体管放大电路的基本组成条件，是晶体管应工作于放大区而且信号能不失真地输入和输出。各种晶体管放大电路都是利用晶体管的电流放大特性，在输入信号的作用下，将直流电源的能量转变为输出信号的能量，因此它们都存在输出电压、输出电流和输出功率，而各种放大电路的差异主要是其侧重点有所不同。放大电路的特点是电路中同时存在直流分量和交流分量，而且晶体管是非线性器件。因此，分析放大电路时，主要采用的是图解法和微变等效电路法等分析方法。图解法是一种借助于晶体管特性曲线，进行作图求解的分析方法，

适用于分析输入信号幅值较大（如功率放大器）、频率较低以及无反馈的放大电路，但它不能用来求取放大电路的某些技术指标，如输入电阻 R_i 、输出电阻 R_o 等。而微变等效电路法，则是一种近似计算的分析方法，即在一定条件下用线性模型代替晶体管，然后用分析线性电路的方法，来分析放大电路的各项参数和指标，因此它适用于分析输入信号幅值较小的电压放大电路。常用的放大电路，有电压放大电路、差动放大电路和功率放大电路等。

1. 电压放大电路

电压放大电路一般工作在小信号状态，其输入信号多为 mV 级的交流电压信号，而电路各处电流也较小。电压放大电路的着重点是电压放大性能，即要求电压放大倍数足够大、输出波形不失真、工作稳定。电压放大器的主要性能指标，有电压放大倍数 A_u 、输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 等。

(1) 设置静态工作点 由晶体管的输入和输出特性可知，为使晶体管在放大交流信号的全过程中始终工作在特性曲线的线性部分，以不失真地放大信号，必须通过直流工作电源配合适当的电阻，来满足晶体管放大状态时发射结正偏、集电结反偏的外部条件，这称为设置静态工作点。设置静态工作点的典型电路有固定偏置放大电路和射极偏置放大电路，如图 1-1 所示。其中，射极偏置放大电路，利用直流负反馈的自动调节作用，可以稳定晶体管的静态工作点，因而实际应用较为广泛。

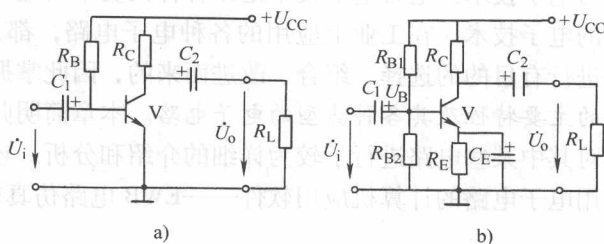


图 1-1 电压放大电路

a) 固定偏置放大电路 b) 射极偏置放大电路

(2) 晶体管 3 种基本放大电路 利用晶体管的 3 种基本接法（即 3 种组态）可以构成 3 种基本放大电路。3 种基本放大电路及其主要特点见表 1-1。

表 1-1 3 种基本放大电路

电路名称	共发射极电路	共集电极电路	共基极电路
电路形式			
静态工作点 (I_B 、 I_C 、 U_{CE})	$I_C = I_B / \beta$ $I_C \approx I_E = (U_B - U_{BE}) / R_E$ $U_{CE} \approx U_{CC} - I_C (R_C + R_E)$ 其中： $U_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} U_{CC}$	U_B 、 I_C 、 I_B 同左 $U_{CE} = U_{CC} - I_C R_E$	同共发射极电路

(续)

电路名称	共发射极电路	共集电极电路	共基极电路
$\dot{A}_u$	$-\beta \frac{R'_L}{r_{be}}$ 其中: $R'_L = R_C // R_L$ $r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_E (\text{mA})}$	$\beta \frac{R'_L}{r_{be} + \beta R'_L} \approx 1$ 其中: $R'_L = R_E // R_L$ $r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_E (\text{mA})}$	$\beta \frac{R'_L}{r_{be}}$ 其中: $R'_L = R_C // R_L$ $r_{be} = 300 + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_E (\text{mA})}$
R_i	$R_{B1} // R_{B2} // r_{be}$	$R_{B1} // R_{B2} // [r_{be} + (1 + \beta) R'_L]$	$r_{be} / (1 + \beta)$
R_o	R_C	$\frac{R_{B1} // R_{B2} // R_S + r_{be}}{1 + \beta} // R_E$	R_C
特点	属于反相放大电路, 电压放大倍数较大, 输入电阻和输出电阻较为适中	属于同相放大电路, 具有电压跟随特性, 电压放大倍数小于并接近 1, 输入电阻较大, 输出电阻较小	属于同相放大电路, 电压放大倍数与共射极电路基本相同, 输入电阻较小
应用场合	多级低频电压放大器的输入级、中间级和输出级	多级低频电压放大器的输入级和输出级	宽频带放大器

(3) 放大电路中的交流负反馈 放大电路引入交流负反馈, 虽然会降低放大电路的放大倍数, 但却能够显著改善电路的其他性能, 如稳定放大电路的放大倍数、减小非线性失真、扩展频带以及改变放大电路的输入电阻及输出电阻等。

由于负反馈的反馈网络对输出回路的采样, 有电压和电流之分 (分别用于稳定输出电压或输出电流), 而反馈量与输入量在输入回路中的连接方式, 又有串联和并联之分 (分别适用于输入信号源为低内阻或高内阻), 故负反馈共有 4 种类型, 即电压串联负反馈、电压并联负反馈、电流串联负反馈、电流并联负反馈。

2. 多级放大器

实际应用中的放大器, 大多是由若干个单级放大器组成的多级放大器。各级放大器之间的耦合形式, 主要有阻容耦合、变压器耦合和直接耦合 3 种。

(1) 电压放大倍数 多级 (n 级) 放大器的电压放大倍数为各级放大器的电压放大倍数之积, 即 $\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \dot{A}_{u2} \cdots \dot{A}_{un}$ 。式中的 $\dot{A}_{u1}$ 、 $\dot{A}_{u2}$ 、 $\dot{A}_{un}$ 分别为第一级、第二级、第 n 级放大器的电压放大倍数, 而这些放大倍数必须是将后级输入电阻作为前一级的负载电阻来考虑所获得的电压放大倍数。

(2) 输入电阻和输出电阻 多级放大器的输入电阻就是考虑了后级影响后的第一级的输入电阻, 即 $R_i = R_{i1}$ 。多级放大器的输出电阻就是考虑了所有前级影响后的末级的输出电阻, 即 $R_o = R_{on}$ 。

例 1-1 在图 1-1b 所示的电压放大电路中, $R_{B1} = 33\text{k}\Omega$, $R_{B2} = 10\text{k}\Omega$, $R_E = 1.5\text{k}\Omega$, $R_C = 3.3\text{k}\Omega$, $R_L = 5.1\text{k}\Omega$, $+U_{CC} = +12\text{V}$, 晶体管 $\beta = 50$, 试确定晶体管的静态工作点, 并估算放大器的电压放大倍数 $\dot{A}_u$ 、输入电阻 R_i 、输出电阻 R_o 。

解 晶体管的静态工作点

$$U_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} U_{CC} = \frac{10\text{k}\Omega}{33\text{k}\Omega + 10\text{k}\Omega} \times 12\text{V} = 2.79\text{V}$$

$$I_C \approx I_E = \frac{U_B - U_{BE}}{R_E} = \frac{2.79\text{V} - 0.7\text{V}}{1.5\text{k}\Omega} = 1.39\text{mA}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{1.39\text{mA}}{50} = 27.8\mu\text{A}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 12\text{V} - 1.39\text{mA} \times (3.3\text{k}\Omega + 1.5\text{k}\Omega) = 5.33\text{V}$$

放大器的微变等效电路如图 1-2 所示。

$$\text{图中, } r_{be} = 300\Omega + (1 + \beta) \frac{26\text{mV}}{I_E(\text{mA})} = 300\Omega + (1 + 50) \times \frac{26\text{mV}}{1.39\text{mA}} \approx 1.25\text{k}\Omega$$

$$\text{电压放大倍数 } \dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = -\beta \frac{R_C // R_L}{r_{be}} =$$

$$-50 \times \frac{3.3\text{k}\Omega // 5.1\text{k}\Omega}{1.25\text{k}\Omega} \approx -80$$

$$\text{输入电阻 } R_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{be} = 33\text{k}\Omega // 10\text{k}\Omega // 1.25\text{k}\Omega \approx 1.25\text{k}\Omega$$

$$\text{输出电阻 } R_o = R_C = 3.3\text{k}\Omega$$

3. 差动放大电路

为了放大缓慢变化的信号及直流信号，放大电路一般采用直接耦合的方式。为减小直接耦合放大电路的零点漂移，通常应选用高稳定度的电源和温度稳定性好的元器件，而在电路结构上最为有效的抑制零漂的方法，则是采用差动放大电路。差动放大电路有 4 种接法，即双端输入双端输出、双端输入单端输出、单端输入双端输出和单端输入单端输出。差动放大电路 4 种接法的工作情况见表 1-2。

表 1-2 差动放大电路 4 种接法的工作情况

电路名称	双端输入双端输出	双端输入单端输出	单端输入双端输出	单端输入单端输出
电路形式				
$\dot{A}_{ud}$	$-\beta \frac{R_C // \frac{R_L}{2}}{R_S + r_{be}}$	$-\beta \frac{R_C // R_L}{2(R_S + r_{be})}$	$-\beta \frac{R_C // \frac{R_L}{2}}{R_S + r_{be}}$	$-\beta \frac{R_C // R_L}{2(R_S + r_{be})}$
R_i	$2(R_S + r_{be})$	$2(R_S + r_{be})$	$2(R_S + r_{be})$	$2(R_S + r_{be})$
R_o	$2R_C$	R_C	$2R_C$	R_C

4. 功率放大电路

功率放大电路（简称功放）主要是用来获得较大幅值的输出电压，而驱动实际负载或执行元件，则需要采用功率放大电路。在功率放大电路中，功放管处于大信号工作状态，甚至是接近于极限状态，其电压和电流在较大范围内变化，输出信号容易产生非线性失真，功放管也较易损坏。对功率放大电路的主要要求是具有较大的输出功率、较高的效率、较小的信号失真以及电路工作稳定。功率放大电路主要有甲类和乙类等几种功放类型。乙类功率放大器的效率高于甲类功率放大器，理论上其效率最大值为 78.5%。常见的无变压器互补型乙类功率放大器主要有 OTL、OCL 和 BTL 功率放大电路等，如图 1-3 所示。

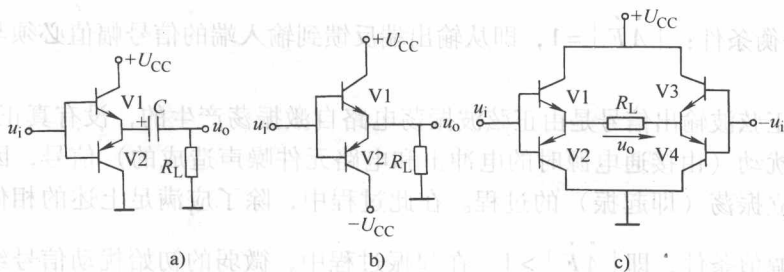


图 1-3 功率放大电路的工作原理

a) OTL 功放 b) OCL 功放 c) BTL 功放

在理想情况（忽略功放管压降、输入信号足够大）下，这三种功放的最大输出功率分别为

$$\text{OTL 功放}(U_{CC} \text{ 单工作电源}) \quad P_{OM} = \frac{U_{CC}^2}{8R} \quad (1-1)$$

$$\text{OCL 功放}(\pm U_{CC} \text{ 双工作电源}) \quad P_{OM} = \frac{U_{CC}^2}{2R} \quad (1-2)$$

$$\text{BTL 功放}(U_{CC} \text{ 单工作电源}) \quad P_{OM} = \frac{U_{CC}^2}{2R} \quad (1-3)$$

由式 (1-1) ~ 式 (1-3) 可知，BTL 功放的电源利用率较高。从理论上讲，在同样的电源下，BTL 功放的输出功率是 OTL 功放的 4 倍。

在实际的功率放大电路中，应设置适当的静态工作点，使功放管工作在甲乙类状态，这样既可以保证较高的能量转换效率，又可以解决交越失真问题。

二、正弦波振荡器

正弦波振荡器是一种能量变换装置，其功能是将直流电变换为具有一定频率和幅值的正弦交流电，它在测量、控制、通信等许多领域中都得到了广泛应用。按振荡器中选频网络的不同，正弦波振荡器可分为 LC 正弦波振荡器、RC 正弦波振荡器和石英晶体振荡器。LC 正弦波振荡器可以产生高频正弦波信号，其输出正弦波信号的频率可达 1000MHz 以上；RC 正弦波振荡器可产生较低频率范围（如 1Hz ~ 1MHz）的正弦波信号；石英晶体正弦波振荡器，利用石英晶体谐振器的品质因数很高、且谐振频率很精确和很稳定的特性，可获得很高的频率稳定度。

1. 正弦波振荡器的组成和振荡条件

正弦波振荡器的原理框图如图 1-4 所示。图中, $\dot{A}$ 为放大器, $\dot{F}$ 为具有选频特性的正反馈网络。

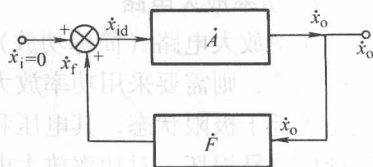


图 1-4 正弦波振荡器原理框图

正弦波振荡器维持等幅正弦波振荡的条件为: $\dot{A}\dot{F} = 1$ 。该条件包含了相位平衡条件和振幅平衡条件, 即

1) 相位平衡条件: $\varphi_A + \varphi_F = 2n\pi (n = 1, 2, 3, \dots)$ 。即从输出端反馈到输入端的信号必须与输入信号同相位, 亦即反馈必须是正反馈。

2) 振幅平衡条件: $|\dot{A}\dot{F}| = 1$, 即从输出端反馈到输入端的信号幅值必须与输入信号幅值相同。

实际上, 正弦波输出信号是由正弦波振荡电路自激振荡产生的, 没有真正的输入信号, 而只有最初的扰动 (由接通电源时的电冲击和电路元件噪声造成的) 信号, 因此正弦波振荡器有一个建立振荡 (即起振) 的过程。在此过程中, 除了应满足上述的相位条件外, 还应满足起振的幅值条件, 即 $|\dot{A}\dot{F}| > 1$ 。在起振过程中, 微弱的初始扰动信号经过放大、选频、正反馈、再放大……, 逐渐由小到大, 而正弦波振荡器最终便建立起单一频率的稳幅正弦波振荡输出。

一个完整的正弦波振荡器通常由放大器、选频网络、正反馈、稳幅环节四个部分组成。

2. LC 正弦波振荡器

LC 正弦波振荡器, 采用 LC 并联谐振回路作为晶体管的负载, 并作为选频网络, 再由反馈电路将输出信号反馈到放大器输入端, 给放大器引入正反馈, 从而产生自激正弦波振荡, 形成正弦波输出。根据选频网络和反馈电路的结构不同, LC 正弦波振荡器有变压器反馈式、电感三点式和电容三点式等三种基本形式, 如图 1-5 所示。

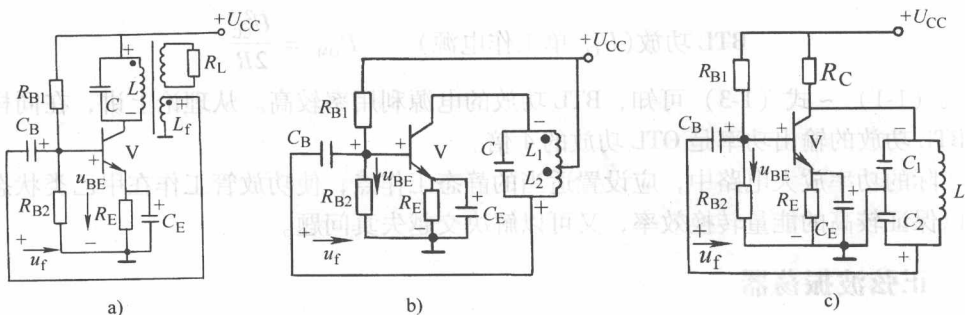


图 1-5 LC 正弦波振荡器

a) 变压器反馈式 b) 电感三点式 c) 电容三点式

LC 振荡器的正弦波振荡频率 (即其输出正弦波的频率) f_0 为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1-4)$$

式中 L ——LC 并联谐振回路的等效电感;

C —— LC 并联谐振回路的等效电容。

品质因数 Q 是反映 LC 并联谐振回路损耗大小的一个重要参数, $Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 C R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$, Q 值越大, LC 回路总损耗的等效电阻越小, 损耗越小, LC 谐振回路的选频特性也越好。

三、集成运算放大器的应用

集成运算放大器(简称运放)是一种高放大倍数($10^4 \sim 10^7$)的直接耦合放大器,也是目前一种常见的集成电路。所谓集成电路,是将半导体器件、电阻、电容及连接线等,用集成工艺制作在同一块半导体基片上,使其具有一定的电路功能,再封装成的一个整体。集成电路按其电路功能主要分为模拟和数字两大类,运放属于模拟集成电路。国产集成电路器件的型号由5部分组成,各部分符号的意义见表1-3。

表1-3 国产集成电路器件型号各部分符号的意义

第一部分	第二部分	第三部分	第四部分	第五部分
用字母C表示符合 国家标准的器件	器件的类型 (用字母表示)	器件系列和产品代号 (用数字和字母表示)	器件工作温度范围 (用字母表示)	器件的封装形式 (用字母表示)
C	T: TTL 电路	TTL 系列有	C: $0 \sim 70^\circ\text{C}$	P: 塑料双列直插
	H: HTTL 电路	54/74 $\times \times \times$	G: $-25 \sim 70^\circ\text{C}$	B: 塑料扁平
	E: ECL 电路	54/74H $\times \times \times$	L: $-25 \sim 85^\circ\text{C}$	S: 塑料单列直插
	C: CMOS 电路	54/74L $\times \times \times$	E: $-40 \sim 85^\circ\text{C}$	T: 金属圆壳
	M: 存储器	COMS 系列有	R: $-55 \sim 85^\circ\text{C}$	J: 黑瓷双列直插
	μ : 微型机电路	54/74HC $\times \times \times$	M: $-55 \sim 125^\circ\text{C}$	
	F: 线性放大器	54/74HCT $\times \times$		
	W: 稳压器			
	D: 音响、电视电路			
	B: 非线性电路			
	J: 接口电路			
	AD: A/D 转换器			
	DA: D/A 转换器			

国产运放的型号为 $CF \times \times \times$ 系列, 如 CF702、CF747、CF4741 等。运放的主要技术指标有: 开环差模电压放大倍数 A_{od} 、共模抑制比 K_{CMR} 、差模输入电阻 R_{id} 、输入失调电压 U_{I0} 、输入失调电压的温漂 dU_{I0}/dT 、输入失调电流 I_{I0} 、输入失调电流的温漂 dI_{I0}/dT 、最大共模输入电压 U_{ICM} 、最大共模输入电压 U_{IDM} 等。运放按其性能指标, 分为通用型和专用型两大类, 专用型是为了能更好地满足某些使用要求, 而主要侧重于某项或某些技术指标, 如专用型有高精度型、高阻型、高速型、高压型、低功耗型、低温漂型、大功率型等, 一般情况下可采用通用型。目前, 运放作为一种基本的功能器件, 已广泛用于各类线性、非线性电子电路中。

1. 线性应用

在线性应用电路中, 运放带有深度负反馈, 可近似为理想器件, 具有“虚短”和“虚