

教 案

2025-2026 学年第二学期

课程名称 电子技术

专业班级 机电一体化 251

总学时数 96 学时

任课教师 陈炳文

课程基本信息

课程名称	电子技术			
课程性质	专业基础课	学分	6	
学时	总学时：96 学时。其中：课堂讲授 64 学时；实训/实验 32 学时；			
开课部门	机电工程系	任课教师	陈炳文	
授课专业、班级	机电一体化专业技术 251、251（3+）	开课学期	2025-2026 第二学期	
成绩评定	平时成绩占 30%；期末成绩占 70 %	考核方式	考试	
选用教材	书 名	主 编	出版社	出版日期
	电子技术	朗朗	哈尔滨工业大学	2023. 1
本课程在本专业人才培养方案中的地位和作用	《电子技术》课程是机电一体化专业的一门必修的专业基础课。			
本课程教学目标	通过本课程的教学，使学生了解机电、电子控制的一般原理和基础知识，掌握分析、设计和使用电子技术控制系统和装置、器件的基本技能，获得机电工程师必备的知识储备和技能训练。			
素质(思政)内容与要求	案例 1、案例 2、案例 3、案例 4			
学生用主要参考资料	教材配套电子资料及习题参考			

课程思政案例 1

勤奋与创新成就高铁工人卓越梦想

——记中国北车长春轨道客车股份有限公司维修电工罗昭强

对话罗昭强时，他从容谈笑间总有惊人之语——

“不论你做什么工作，都要往前多看几步。”

“只有做和别人不一样的人，才能成就和别人不一样的事。”

“耐不住寂寞不行，人生就是修炼自己的过程，很多事要看开。”

“坚持住你的兴趣爱好，做一个虔诚的追梦者，就是一种素养”……

和这样的智者交流，是一次愉悦的心灵之旅。有如此见识与胸襟，难怪他会从一名普通的维修电工，成长为中国北车集团资深专家、长春轨道客车股份有限公司首席操作师。

“其实，当时我也背负着很大压力。别人都可以说‘我修不了’，唯独我不能说，我没有后路，因为我也修不了的话，设备就要瘫痪。无论如何都要想办法给修上，这是我对自己的要求，是底线。”41岁的罗昭强，摸着一头早生的华发，笑容欣慰，“好在，目前还没遇到我修不了的设备！”

“一个人想要做成点事儿，就必须对自己狠一点”，这是罗昭强的信条。他暗下决心：“要对公司各类设备的故障手到病除，光懂电远远不够，电子、液压、机械、计算机……10多门学科必须全都通晓！”

“坚持住你的兴趣爱好，做一个虔诚的追梦者，是一种素养”，从某种意义上说，罗昭强“天生”就是干维修电工这一行的——孩提时代，他就喜欢把玩具拆了再装；小学5年级时，他修好了家中损坏的台灯；念中学时，他修好了家里的电风扇和老式滚筒洗衣机，他甚至还自己买书、买零件，组装出了几台晶体管收音机。

“我从内心里喜欢、热爱这个行业，做一个出色的职业维修人员，可能是我儿时就有的梦想吧！”罗昭强说，为实现这个梦想，他一直在做一件事——坚持。这种坚持，包括对学习的坚持。无论念书期间，还是参加工作后，当同学们、工友们在业余时间尽情玩乐时，罗昭强却独自泡在书店、图书馆。时至今日，虽早已被奉为“电气大师”，可每逢休息日，他仍要去图书馆，即使是带孩子去参加培训班，他也会在家长休息室里打开随身携带的平板电脑，沉浸于查阅其中各种专业资料，片刻不肯松懈。

2010年6月，长客股份成立了由罗昭强领衔担纲维修电工首席操作师的工作站。为满足公司对高技能人才的迫切需求，罗昭强以该工作站为平台，破除门户，广收弟子，开设了“西门子可编程控制器技术”“变频器原理与维修”“液压技术接力培训”等多个特色培训班，并针对学员队伍的实际情况，设置了普及班、提高班和精英班，因材施教、分层教学。

“罗师傅主持的这个工作站，是人社部命名的‘国家级技能大师工作室’，能在这里得到罗大师的亲自指点，真是太幸运了！”从其他车间慕名而来拜师学艺的刘涛，笑逐颜开：“最近，罗师傅正在全公司范围内选拔‘高徒班’学员，我已经考试入围，马上就能‘更上一层楼’了！”

在罗昭强案头，摆着他集毕生经验编写的《维修电工技能进阶培训教程》，这本厚达470多页的教材，已帮助70余人顺利考取了中国北车高级技师。为实现接力培训，让更多青年工人受益，罗昭强还培养了一个工人讲师团，保证了培训的人才支撑和质量。

课程思政案例 2

德国电机专家斯坦门茨的故事（选编）

20 世纪初期，美国最大的公司——福特公司的一台电动机出现故障，很多人修理了两三个月都修不好。在束手无策的情况下，有人向公司推荐了当时已经移居美国的德国科技企业管理专家斯坦门茨。斯坦门茨在电动机旁边仔细观察，并经过两天的计算后，用粉笔在电动机的外壳上画了一条线，说：“打开电动机，将记号所示位置的线圈减少 16 圈。”人们半信半疑地照他的话去做，结果，毛病果真出在那里。电动机修好后，有关人员问他要多少酬金，他说：“一万美元！”啊？一万美元！那人还以为自己听错了呢！于是，他便要求斯坦门茨列一张账单来说明费用的支出明细。斯坦门茨写道：“用粉笔画一条线 1 美元，知道在哪里画这条线 9 999 美元。”账单送到了福特公司老板那里，老板看了后连连点头，很快照付了一万美元，并用重金聘用了他。

课程思政案例 3

埋头做学问的电机专家——高泗玉

2004 年的“海创周”，他作为一个从海外归来的学子，忙碌着参加各场展会，不停地做着记录，认真地考察大连高新区的产业现状和投资环境。通过这一次大连之行，早就对祖国的发展有所耳闻的他，亲眼目睹了国内翻天覆地的变化。“海创周”结束时，他做出了一生中最重要的决定——到大连高新区创业。他，就是曾留学日本的现大连进丰机电有限公司董事长高泗玉。

高泗玉，1987 年 7 月毕业于上海交通大学材料科学与工程专业。毕业后，他到大连起重机厂从事技术工作。1994 年 7 月赴日本名古屋大学材料科学与工程专业进修。取得博士学位后，高泗玉先后在国外著名的跨国公司 TRW 及日本的著名电机生产公司从事技术及管理工作。在日本学习期间，他在国际著名杂志发表了十几篇学术论文，获得了日本金属协会杰出论文奖。

2005 年 5 月，高泗玉向公司递交了辞呈。公司多次提出更优厚的条件来挽留他，都被他婉言谢绝。他带着自己的研究成果和创业梦想举家回到大连，在高新区创办了大连进丰机电有限公司（以下简称进丰）。

只顾埋头钻研技术的高泗玉，从不宣传自己和自己的企业，但一讲起他的产品来却滔滔不绝，如数家珍。2006 年，进丰开发了一款无刷微型电机，它采用素子减小集成电路的占空比，在电机原有容积小、能耗低、噪声低、耐用环保等优点的基础上，使能量消耗更低、动作控制更准确，并且能够完成复杂的指令要求。产品一上市就受到客户的喜爱。凭借先进的技术、丰富的生产经验及完善的质量监控体系，公司的产品完全达到国外同类产品的水平，在国内外市场享有盛誉。因此，公司所有产品全部销往国外。

凭借着对科研的执著追求，高泗玉瞄准国际前沿领域的最新研究进展，结合自己的研究特点，走出了一条引进消化吸收再创新的创业之路，使自己的科研水平能始终处于世界前列。他本人也收获了一项项荣誉，2006 年、2007 年连续两年被海外学子创业园评为十佳优秀企业，2007 年被高新园区管委会评为最佳海外学子创业企业，他本人被大连市政府评为归国留学人员创业英才。

如今，当有人问起当年是什么使他放弃在日本的优厚待遇和优越的生活条件时，他说：“回想自己的成长历程，在上大学时就拿国家奖学金，而人要懂得感恩。我能有今天的成就，离不开国家的培养，在国外生活 10 年，想的就是要多学点本领，回国后能做点实事。”

课程思政案例 4

从机械迷到汽车大王——亨利·福特

亨利·福特虽然生长在偏远的密执安农场，但他对农事知之甚少——他很早便显露出新一代美国人的特点，比起农业来，他们对工业更感兴趣。他的父亲威廉姆，如同大多数早期的农场主一样，希望长子能随他务农，扩展农场并继承他的衣钵。而亨利令他感到失望，亨利厌恶农活并想方设法去逃避农场的劳动。这并不是说他懒惰，倘若让他干点机械活，从修门的合叶到磨农具，他都干得很带劲。农场的日常生活和单调重复的劳动使他倍感沮丧。后来他在回忆他的这段农庄生活时写道：“一个人整天跟在一群慢悠悠的马后面，这是对时间多么大的浪费呀。”

亨利对技术发展可能开创的未来兴奋不已，这能使像他父亲一样的农夫从费时和枯燥的辛劳中解脱出来。但在亨利的童年，新型机械的发展几乎根本触及不到农业，而农民们一直延续着由来已久的务农方式。收益低、变化无常的天气和农民们对改变现状的本能抵触都妨碍农民们（有远见者除外）充分利用新型机械。

因此亨利将注意力转向其他方面。他在 12 岁时就对钟表异常着迷。与大多数孩子一样，他痴迷于研究计时器的工作方式及观察棘轮、车轮、弹簧和钟摆的运动。不久他就能在卧室里自己做的长凳上给朋友们修理钟表了。1876 年，蒸汽发动机已成为继钟表后亨利的又一痴迷物。

亨利第一次见到蒸汽驱动的机车是在 1877 年的一天，他和父亲坐在农用马车上。机车司机停下来给他们让路，亨利跳下马车，跑过去问了一连串有关发动机性能的问题。从那天起，亨利便开始对蒸汽发动机如痴如醉。当他 16 岁在底特律的车间干活时，制造和安装发动机就成了他的工作。

由于一次偶然的机，亨利遇到了一位原来的同事，这得以使他在爱迪生底特律电力公司谋到一份工程师的工作，该公司属于电气业——这一新兴行业的中坚。电气时代已经到来，美国的主要城市都在兴建电厂，铺设缆线。尽管亨利很快就学会了新工作中的各种技能，使得他不出四年便成为底特律电厂的总工程师，然而他在生活中仍保持着对燃油发动机的浓厚兴趣。他用晚上的业余时间试图制造出一台他自己设计的发动机。

亨利懂得了靠手工白手起家去制造发动机是一项缓慢、辛苦、困难重重的任务。每种部件的每个部分都要分别制作、检查及调试。制造者要操心和解决每个问题。为了减轻负担，亨利与另一位机械师吉姆·毕晓普一起分工合作。即便如此，他们也是花了两年的时间才造出一辆工作车。这辆车外形笨拙，架在自行车轮子上并靠一根胶皮带将发动机与后车轮相连。亨利戏称它为“四轮驱动脚踏车”。

项目一、低频小信号放大电路的制作与调试

本章主要内容

本章重点讲述半导体器件的结构原理、外特性、主要参数及其物理意义，工作状态的分析。

首先介绍构成 PN 结的半导体材料、二极管的伏安特性、分类及命名、常用二极管和主要参数；第二部分介绍三极管晶体管的结构、分类及命名、工作区的判断分析方法、主要参数第二部分介绍晶闸管的结构、分类、工作特性及典型应用。

本章课时分配 本章分为 4 讲，共 18 学时。

第 1 讲 二极管

教学目标：

了解晶体二极管的结构、符号、性质

教学重点（教学 4 学时）

1. PN 结（二极管）的单向导电性；
2. 二极管结的伏安特性。

教学难点

1. PN 结（二极管）的单向导电性；
2. 掺杂半导体中的多子和少子；

教学手段：讲授

教学组织过程

课堂讲授。用多媒体演示半导体的结构、导电机理、PN 结的形成过程及其伏安特性等，便于学生理解和掌握。

主要内容

1. 半导体基础知识

- (1) 半导体及其导电性能
- (2) 本征半导体的结构及其导电性能

本征半导体是纯净的、没有结构缺陷的半导体单晶。制造半导体器件的半导体材料的纯度非常，它在物理结构上为共价键、呈单晶体形态，常温常态下基本不导电。

- (3) 半导体的本征激发与复合现象

当温度升高或受到光的照射时，价电子能量增高，有的价电子可以挣脱原子核的束缚而参与导电，成为自由电子。这一现象称为本征激发（也称热激发）。因热激发而出现的自由电子和空穴是同时成对出现的，称为电子空穴对。

游离的部分自由电子也可能回到空穴中去，称为复合。

在一定温度下本征激发和复合会达到动态平衡，此时，载流子浓度一定，且自由电子数和空穴数相等。

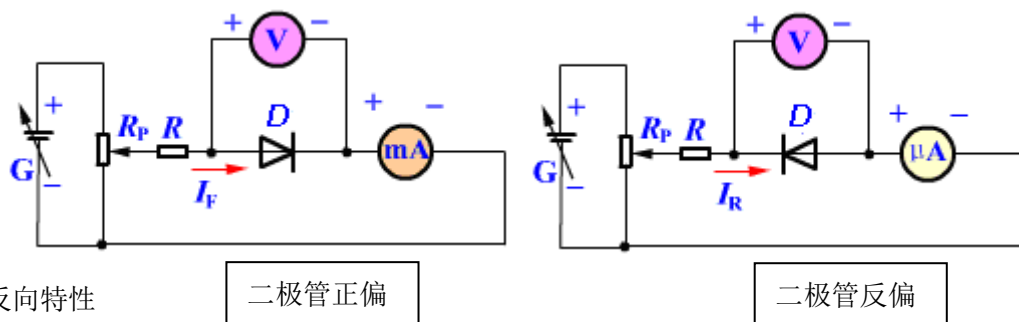
- (4) 杂质半导体 **见表 1-1**

2. 二极管单相导电性

- (1) PN 结的概念，二极管的概念；
- (2) 二极管的的单向导电性：

a. 正向特性

- 正偏概念
- 死区电压（锗管约为 0.2V，硅管约为 0.6V），这些数值是大概的，不是绝对的。
- 正向压降（锗管约为 0.3V，硅管约为 0.7V），这些数值是大概的，不是绝对的。



b. 反向特性

- 反偏概念
- 漏电流

3. 二极管的名称 (1) 国产命名 (2) 国外命名

4. 二极管的分类 见表 1-2。

可以从网络上搜索出各种二极管，展示给同学们观看，增加大家的直观认识。

5. 认识几种常用二极管

- (1) 整流二极管
- (2) 稳压二极管 提醒同学们这种的二极管的特殊性，标记的特点；
- (3) 开关二极管 常见品种 1N4148，国产以 2A (N 型，锗材料) K (开关管)、2D (P 型，硅材料) K (开关管) 开头；
- (4) 发光二极管 包括七段数码管，点阵新型器件；
- (5) 变容二极管 提醒同学们翻到 P115，观看变容二极管和电感组成振荡电路，进行数字调谐。因为 D1、D2 负极通过电感、R1 接 VDD，改变 U0 的①电压，则变容二极管的反偏电压随之变化，等效电容也跟着改变.....

6. 二极管的主要参数

- (1) 正向额定工作电流 (I_{FM})
- (2) 最高反向工作电压 (V_{RM})
- (3) 反向饱和电流 (I_{RM})

翻书到<附录2>和<附录3>，就老师个人的知识面，解读二极管的有关参数。

第 2 讲 晶体管

教学目标：

了解晶体管的结构、符号、性质

教学重点（教学 6 学时）

1. 晶体管结构特点和电流放大作用；
2. 晶体管类型判断和电流放大倍数的测量；

教学难点

1. 晶体管的共射特性曲线；
2. 晶体管直流电流放大系数 β ($= \Delta I_C / \Delta I_B$) 和共发射极直流电流放大系数 $\bar{\beta}$ ($= I_C / I_B$)

教学手段：讲授

教学组织过程

教师课堂讲授。用多媒体演示晶体管的结构、用 EWB 仿真电路演示晶体管的电流放大作用

等，便于学生理解和掌握。

主要内容

1. 晶体管基础知识

晶体管最主要的功能是**电流放大**和**开关作用**。

(1) 晶体管结构

● NPN 型 相关概念：基区（极）、发射区（极）、集电区（极），符号

● PNP 型 相关概念：基区（极）、发射区（极）、集电区（极），符号

a) 晶体管不能简单等同于双二极管，这由生产制造时采取的特殊结构工艺决定的；

b) 三极管结构工艺特点是：集电区面积较大（发热集中在该区域）；基区较薄，掺杂浓度低；发射区，掺杂浓度较高。

(2) 晶体管名称 (1) 国产命名 (2) 国外命名

(3) 晶体管分类，见表 1-3

可以从网络上搜索出各种二极管，展示给同学们观看，增加大家的直观认识。

(4) 晶体管封装

(5) 晶体管类型判断 参考图1-12晶体管测试时的等效模型，按照表1-4的方法要求，老师演示（两种型号NPN、PNP）给同学们观看，然后叫几个同学自己测试，体验测试方法、过程，并向全班同学传答测试结果。

(6) 晶体管集电极和发射极判断

① 由表 1-4 方法能判断出晶体管的类型，但是并不能确定发射极和集电极。用数字万用表 H_{FE} 挡既可以测量晶体管电流放大倍数，又能判断出晶体管的发射极和集电极，一举两得。

② 讲解数字万用表 H_{FE} 挡为何是 4 位插孔；

③ 引领同学们体会图 1-15，图 1-16 两种管子的插法和测试结果。

2. 晶体管电流放大作用

(1) 晶体管工作电压

NPN型三极管接法如图1-17a，c、b、e三个电极的电位应符合： $V_C > V_B > V_E$

PNP型三极管接法如图 1-17b，c、b、e 三个电极的电位应符合： $V_C < V_B < V_E$

(2) 晶体管电流放大过程

将 $\Delta I_C / \Delta I_B$ 的比值称为晶体管的**电流放大系数**，用符号 β 表示，即 $\beta = \Delta I_C / \Delta I_B$ ，表明了晶体管的电流放大能力的强弱。

(1) 发射极电流等于集电极与基极电流之和： $I_E = I_C + I_B$ ，由于基极电流很小，所以集电极电流与发射极电流近似相等，即 $I_E \approx I_C$ 。

(2) 三极管集电极 I_C 与相应基极电流 I_B 之比，称为**共发射极直流电流放大系数**，用 $\bar{\beta} = I_C / I_B$ 表示；由于 $\bar{\beta}$ 和 β 相差很小，一般情况下不区分 $\bar{\beta}$ 和 β 。

3. 晶体管输入特性曲线 见电路图 1-19 和表 1-20

$$i_B = f(v_{BE}) | V_{CE} = \text{常数}$$

(1) $v_{CE} = 0$, 集电结和发射结并联, 特性曲线就二极管的伏安特性;

(2) $v_{CE} > 0$ 和 $v_{CE} \geq 1$ 特性曲线右移。

2. 晶体管输出特性曲线 见电路图 1-19 和表 1-21

$$i_C = f(v_{CE}) | I_B = \text{常数}$$

表明 I_B 一定时, 有特定的集电极电流 I_C 与之对应。所以晶体管输出特性是一簇曲线。

3. 晶体管输出特性曲线可分为三个区域: 截止区、放大区和饱和区 对表 1-6 进行解说。

4. 讲解例题

例题 1-2, 并可以引伸开来, 更改参数后再计算 (讲多一点)

5. 晶体管的主要参数

- (1) 集电极最大电流 I_{CM}
- (2) 集电极-发射极反向击穿电压
- (3) 集电极最大允许功耗 P_{CM}
- (4) 共射特征频率 f_T

然后, 引导同学们翻到书末 <附录 4>, 就老师个人的知识面, 解读晶体管的主要参数。

第 3 讲 实验一

教学目标:

了解晶体管的测试

教学重点 (讲授+实验 4 学时)

1. 晶体管在特殊情况, 等效双二极管;
2. 晶体管类型判断和电流放大倍数的测量;

教学难点

1. 运用欧姆定律实际计算电路中各支路的电流;

教学手段: 实验

教学组织过程

实验室一体化讲授。探索理论知识和技能训练一体化的模式, 把学生对理论知识的理解通过实践体验来印证和加深。

1. 讲述

本节课程是在《第 1 章》内容的基础上通过实验的方法巩固对理论知识的理解。通过实际测量操作, 从感性上认识和体验开关二极管 1N4148、整流管二极管 1N4001、稳压管正向和反向压降和工作特性、晶体三极管 S8050、S8550 的 PN 结压降的意义, 会运用欧姆定律实际计算电路中各支路的电流。

2. 实验步骤

- (1) 把同学们带到实验室或项目室, 安排大家坐下并保持安静;

- (2) 找课代表等几位同学到实验室仓库领元器件和电路板；
- (3) 分发焊锡丝、元器件等；
- (4) 按照 1.2 之<实验进程安排>操作
- (5) 现场指导同学们焊接、测试过程
- (6) 提示同学们如何计算各支路的电流、意义

3. 故障分析

在实验过程中，及时发现同学们在遇到的故障，并进行现场分析问题。这些问题有的是个别性，有的具有普遍性，都需要老师现场处理；然后，再指导其他同学避免。

课后，对这些的故障现象进行归纳，补充备课内容，在<点评实验报告>课上逐一评价。

4. 收缴实验报告

5. 点评实验报告（一节课）

第 4 讲 晶闸管

教学目标：

了解晶闸管的结构、符号、特性、应用

教学重点（教学 4 学时）

1. 晶闸管的的的结构和导电机理；
2. 晶体管检测方法；

教学难点

1. 晶闸管的的导电机理；
2. 单相单向半波可控整流。

教学手段：讲授

教学组织过程

教学适宜教师课堂讲授。用多媒体演示晶体管的结构、用实物电路演示晶闸管的调光控制功能等，便于学生理解和掌握。

主要内容

晶闸管即硅晶体闸流管，俗称可控硅，它能以小功率信号去控制大功率系统，可作为强电与弱电的接口，高效完成对电能的变换和控制。

1. 晶闸管的结构与符号 图1-23、图1-24

2. 晶闸管的导电机理

- (1) 正向阻断 见图1-25a (2) 触发导通 图1-25b (3) 反向阻断 图1-25c

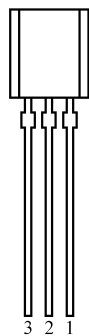
3. 晶闸管的分类 见表1-7

4. 晶闸管的检测

见图1-26，以单向晶闸管为例讲述检测过程。

5. 晶闸管的引脚排列

以单向晶闸管BT169为例讲述引脚排列。



- 1 阳极
- 2 门极
- 3 阴极

a) TO-92

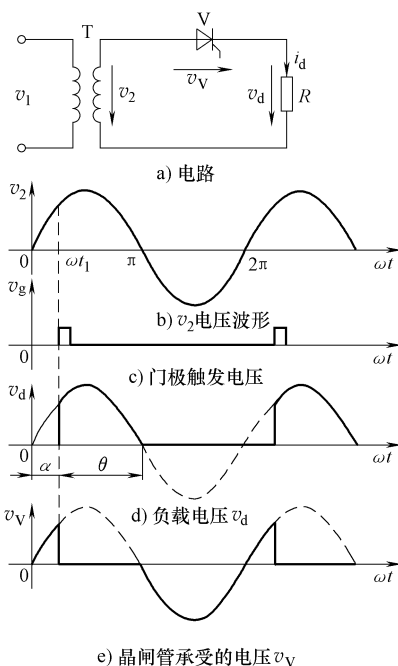


- 1 阴极
- 2 阳极
- 3 门极

b) SOT-89

6. 晶闸管的应用

分析晶闸管单向整流的过程，结合图1-28波形图进行详解。



$$V_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2}V_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{\sqrt{2}V_2}{2\pi} \times (1 + \cos\alpha) \approx 0.45V_2 \frac{1 + \cos\alpha}{2}$$

推论：根据半波整流和桥式整流的关系，可以推导出半波可控整流和可控桥式整流的关系，因此，可控桥式整流输出电压的平均值 V_d

$$V_d \approx 0.9V_2 \frac{1 + \cos\alpha}{2}$$

7. 晶闸管的主要参数 (*)

引导同学们翻到书末<附录5>，就老师个人的知识面，解读晶闸管的主要参数。

项目二、直流稳压电源的设计与制作

本章主要内容

1. 直流电源的组成及各部分的作用；
2. 整流电路的工作原理及其主要参数计算；
3. 各种滤波电路的工作原理和性能特点；
4. 各种稳压电路的工作原理、性能特点和使用。

本章课时分配 本章分为 4 讲，共 18 学时。

第 1 讲 整流电路

教学目标：

了解整流电路的结构、符号、特性、应用

教学重点（教学 4 学时）

直流电源的组成及其各个部分的作用：重点讲清各部分作用及其构造思想。全波桥式整流电路的工作原理分析：重点讲清电路在电源正负半周两种情况下四个二极管的导通截止情况、电流的流向。

教学难点

整流电路基本参数的计算：可只讲参数的含义和计算方法，可不作仔细的数学推导。

教学手段：讲授

教学组织过程

教学以讲授为主，介绍直流稳压电源的组成及各部分的作用，分析整流电路的工作原理，强调对输出电压及电流的平均值如何估算。

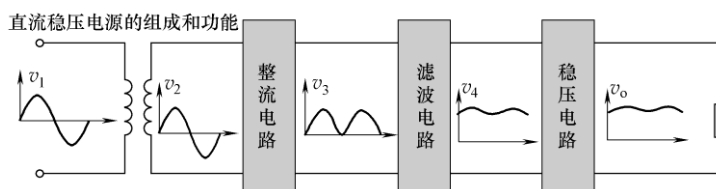
主要内容

概述

电子电路工作时都需要直流电源提供能量，电池因使用费用高，一般只用于低功耗便携式的仪器设备中，大部分电子仪器设备、家用电器、计算机都需要把交流电源转换为直流稳压电源。

将频率为 50Hz、有效值为 220V 的交流电压转换为电压幅值为几伏到几十伏、输出电流为几安以下的单相小功率直流稳压电源

直流电源由变压器、整流电路、滤波电路、稳压电路四个部分组成，它的方框图如下：



其中变压器是把有效值为 220V 的交流电压变换为幅值为几伏到几十伏的交流电；整流电路是将交流电转为具有直流电成分的脉动直流电；滤波电路是将脉动直流中的交流成分滤除，减少交流成分，增加直流成分；稳压电路对整流后的直流电压采用稳压及负反馈技术进一步稳定直流电压。

1. 半波整流电路

- 1) 工作原理分析：半波整流电路如 P50 图 3-2 所示，原理分析见表 3-1。
- 2) 主要参数的含义及其计算

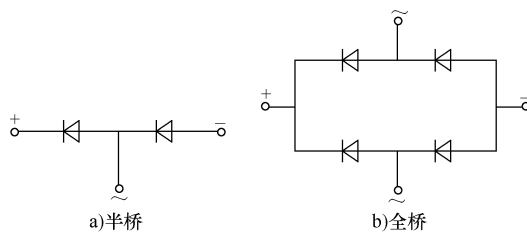
2. 全波桥式整流电路

- 1) 工作原理分析：全波桥式整流电路如 P51 图 3-3、3-4、3-5 所示，原理分析见表 3-2。
- 2) 主要参数的含义及其计算

3. 变压器中间抽头全波桥式整流电路

- 1) 工作原理分析：半波整流电路如 P52 图 3-7 所示，原理分析见表 3-3。
- 2) 主要参数的含义及其计算

4. 整流桥堆



第 2 讲 滤波电路

教学目标：

了解滤波电路的结构、符号、特性、应用

教学重点（教学 2 学时）

1. 电容滤波电路的原理和参数计算；
2. 电感滤波电路的原理和参数计算；

教学难点

电容滤波和电感滤波电路的原理和波形分析。

教学手段：讲授

教学组织过程

教学以讲授为主，介绍滤波电路及各部分的作用，如何根据负载电流估算、选用电容的大小。

主要内容

滤波的基本概念

交流电压经整流电路整流后输出的是脉动直流，其中既有直流成分又有交流成份。滤波电路利用储能元件电容两端的电压（或通过电感中的电流）不能突变的特性，将电容与负载 R_L 并联（或将电感与负载 R_L 串联），滤掉整流电路输出电压中的交流成份，保留其直流成份，达到平滑输出电压波形的目的。

1. 电容滤波电路

滤波电路利用电抗性元件对交、直流阻抗的不同，实现滤波。电容器 C 对直流开路，对交流阻抗小，所以 C 应该并联在负载两端。

（1）滤波原理 参考 P54 图 3-10 所示单相半波整流电路，P55 图 3-11，分析滤波原理。

（2）电容滤波电路的特点

电容滤波电路滤波效果，既与 R_L 有关又与 C 有关。 $R_L C$ 越大、电容 C 放电越慢，输出的直流电压就越大，滤波效果也越好；反之，则输出电压低且滤波效果差。这里讲的 $R_L C$ 是两个参数之积，不是单某一个参数，因为任何一个参数太小，电容 C 放电就会较快，滤波效果就差。

当滤波电容较大时，在接通电源瞬间会有很大的充电电流，称浪涌电流。

选择滤波电容，工程上一般根据经验数据（负载电流）来选择，见表3-4。

2. 电感滤波电路

3. 复式滤波电路

（1）LC 型滤波电路

（2）LC- π 型滤波电路

（3）RC- π 型滤波电路

4. 三种整流电路参数比较 见表 3-5。

第 3 讲 稳压电路（1）

教学目标：

了解稳压电路的结构、符号、特性、应用

教学重点（教学 4 学时）

1. 并联稳压（二极管稳压）电路的基本原理、电路特点及其稳压电阻的计算；
2. 线性串联型稳压电路的基本原理及其输出电压调节范围的计算。

教学难点

稳压二极管稳定调整管（晶体管）基极，调整管发射跟随基极电压，因此能稳定输出电压。

教学手段：讲授

教学组织过程

教学以讲授为主，讲授串联型稳压电路的工作原理、性能特点和使用。

主要内容

稳压的基本概述

经滤波后的直流电压较为平滑，但不能保证它是稳定的，当电网或负载电流变化时，输出电压会随之波动。根据稳压元器件和负载的连接方式不同，可分为串联稳压电路和并联稳压电路两种类型为此，通常在滤波之后稳压，这一节就介绍稳压电路的工作原理。

1. 并联稳压电路

（1）电路组成

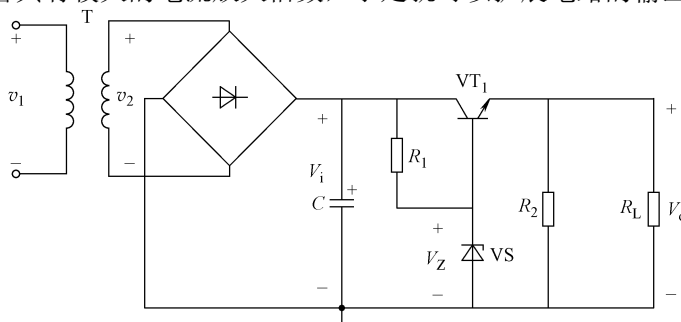
稳压二极管稳压电路的电路如 P58 图 3-16 所示。它是利用稳压二极管的反向击穿特性稳压的，由于反向特性陡降区可以允许较大的电流变化，而电压变化较小的，所以用来作最基本稳压器件。

（2）稳压原理

2. 串联稳压电路

（1）简单串联稳压电路

由于稳压管稳压电路带载能力非常有限，一般只能在负载电流较小的电路中采用，但它却给出一个启示：用电阻和稳压管组成稳压电路可以作为基准电压。如果用这个基准电压控制晶体管的基极，由于晶体管具有较大的电流放大倍数，于是就可以扩展电路的输出能力。



简单串联稳压电路

（2）复杂串联稳压电路

（1）电路模型 如 P60 图 3-19 所示

（2）固定输出串联稳压电路 如 P60 图 3-20 所示

a) 稳压原理

b) VD_1 的作用

（3）可调输出串联稳压电路 如 P61 图 3-21 所示

第 4 讲 稳压电路（2）

教学目标：

了解稳压电路的结构、符号、特性、应用

教学重点（教学 4 学时）

1. 集成稳压器、可调式集成稳压器工作特点及其使用方法；
2. 电容降压式工作特点及其使用方法；

教学难点

电容降压式工作原理。

教学手段：讲授

教学组织过程

教学以讲授为主，讲授集成稳压器、可调式集成稳压器电路的工作原理、性能特点和使用。

主要内容

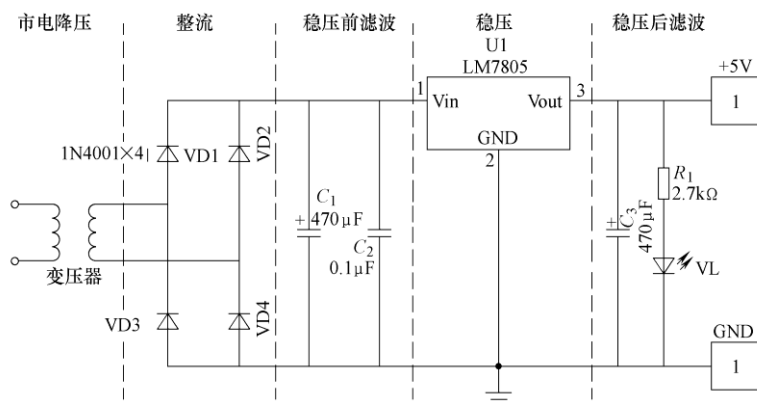
概述

集成稳压器有多种类型。按稳压原理不同，可分为串联调整式、并联调整式、开关调整式；按引脚数目不同，可分为三端稳压器和多端稳压器；按封装形式不同，可分金属封装和塑料封装。固定式三端稳压器有三个端：输入端，公共端和输出端。固定式三端稳压器属串联调整式。

1. 固定式集成稳压器

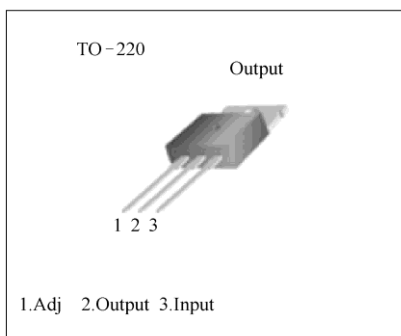
常用型号：CW78XX是正电压输出，CW79XX是负电压输出，编号的见P62图3-22所示。CW78XX 和CW79XX系列集成稳压器的管脚功能有较大差异，使用时必须注意。

如下图所示为包含了市电降压、整流、滤波和稳压共四个环节的电源应用电路，分别简单介绍各元器件的作用。

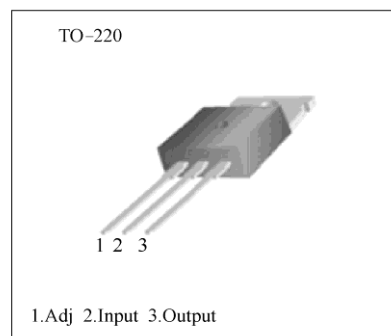


a) 三端稳压器典型应用电路

2. 可调式集成稳压器



a) CW317引脚图



b) CW337引脚图

3. 电容降压式电源

将交流市电转换为低压直流的常规方法是采用变压器降压后再整流滤波，当受体积和成本等因素的限制时，当系统所需电流在几十毫安以下时，最简单而实用的方法是采用电容降压式。电容降压式电源适用于低单价、抗干扰要求较低的电路，国内几乎所有的家用遥控电风扇都采用这

类电路。

1. 电路结构
2. 器件选择
3. 注意事项

第 5 讲 实验三

教学目标：

了解整流电路的测试方法

教学重点（讲授+实验 4 学时）

1. 变压器初、次级绕组的判别；
2. 可调式集成稳压电路工作的特点和管脚识别。

教学难点

1. 运用 $V_o = (1 + \frac{R_{RP}}{R_1}) \times 1.25V$ 实际计算输出电压；

教学手段：实验

教学组织过程

教学适宜教师实验室**一体化讲授**。探索理论知识和技能训练一体化的模式，把学生对理论知识的理解通过实践体验来印证和加深。

1. 讲述

本节课程是在《第 3 章》内容的基础上通过实验的方法巩固对理论知识的理解；通过理论计算和实际测量操作，对比分析电路的输出电路是否满足公式。

2. 实验步骤

- (1) 把同学们带到实验室或项目室，安排大家坐下并保持安静；
- (2) 找课代表等几位同学到实验室仓库领元器件和电路板；
- (3) 分发焊锡丝、元器件等；
- (4) 按照<实验三报告>进程按排操作；
- (5) 现场指导同学们焊接、测试过程；
- (6) 指导同学们对电路直流参数的测量和计算
- (7) 指导同学们分析测量和计算的合理与否。

3. 故障分析

在实验过程中，及时发现同学们在遇到的故障，并进行现场分析问题。这些问题有的是个别性，有的具有普遍性，都需要老师现场处理；然后，再指导其他同学避免。

课后，对这些的故障现象进行归纳，补充备课内容，在<点评实验报告>课上逐一评价。

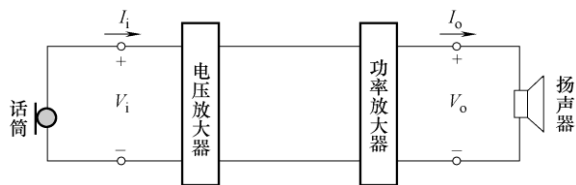
4. 收缴实验报告

5. 点评实验报告（一节课）

项目三、前置放大器的设计与制作

本章主要内容

放大器的主要功能是将输入信号不失真地放大，它在各种电子设备中应用极广，种类也很多如图 2-1 所示电路包括两种放大器：电压放大器和功率放大器。



本章主要讨论低频小信号电压放大器，详细讲述它们的基本组成和性能特点。

本章课时分配 本章分为 6 讲，共 24 学时。

第 1 讲 共发射极放大器

教学目标：

了解晶体管放大电路应用

教学 4 学时

教学重点

1. 共发射极放大器的电路组成；
2. 共发射极放大器的工作原理。

教学难点

1. 共发射极放大器的工作原理；
2. 动态工作波形图；

教学手段：讲授

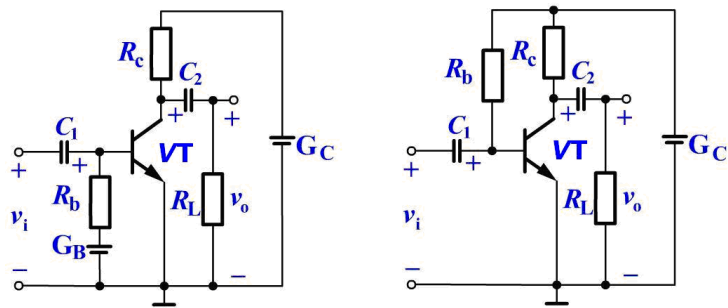
教学组织过程

教学适宜教师课堂讲授。用 EWB 电路仿真演示电路工作状况，便于学生理解和掌握。

主要内容

1. 电路组成

共发射极放大器如下图所示。左图为双电源，右图为单电源，各元器件作用见表 2-1。



2. 工作原理

(1) 静态工作点的设置

a) 静态工作点的含意，在输入、输出特性曲线上表现，英文 quiescence；

b) 电学中约定俗成的规定。

(2) 静态工作点的作用

对于每一个确定的 I_{BQ} ，都有与之对应的 I_{CQ} ，为了使放大器正常工作，放大器必须有一个合适的静态工作点，即必须有一个合适的基极电流 I_{BQ} 。

若不接基极电阻 R_b ，则基极电流 $I_{BQ} = 0$ ， $I_{CQ} \approx 0$ 。 v_i 为正半周，发射结正向偏置，晶体管

发射结存在“死区电压”，所以只有当 v_i 大于“死区电压”时，晶体管才能导通，产生基极电流 i_B ；
输入电压 v_i 为负半周，发射结反向偏置，晶体管截止。

接上基极电阻 R_b ，设置合适的静态工作点（见图2-6），这时 v_i 与 V_{BEQ} 叠加，发射结正向偏置始终大于“死区电压”。

结合图2-6详细解说输入电压/电流和输出电压/电流的关系。

（3）动态工作波形

见图2-7，详细解说每一个波形（随时间变化）的电压/电流关系。重点说明：共发射极放大时，存在交直流叠加的情形。

（4）动态计算分析

晶体管基极与发射极之间电压瞬时值为 $v_{BE} = V_{BEQ} + v_i$ ，集-射极之间电压瞬时值可表示为

$v_{CE} = V_{CEQ} + v_o$ ，基极和集电极电流均包括直流分量和交流分量两部分。

解说表2-2。

第 2 讲 放大器的分析方法

教学目标：

了解放大电路的分析方法、应用

教学：4 学时

教学重点

1. 共发射极放大器的估算法；

教学难点

1. 共发射极放大器的微变等效模型；

2. 动态分析 输入电阻 r_{be} 、输出电阻 r_o 、电压放大倍数；

3. 图解法。

教学手段：讲授

教学组织过程

教学适宜教师课堂讲授。用例题计算推理印证，抽象共发射极放大器的微变等效模型需要做详尽解说。

主要内容

分析放大器的性能，通常有以下三种方法，即估算法、图解法和等效电路法。用公式通过近似计算来分析放大器性能的方法称为估算法。

1. 估算法

（1）静态分析

放大器中同时存在着直流分量和交流分量两种成分。

由于放大器中通常都存在电抗性元件（电容和电感），所以直流分量和交流分量的通路是不一样的。

概念：直流通路 交流通路

元器件等效：直流通路电容可以视为开路，电感可以视为短路，交流通路小容抗的电容以及

内阻小的电源，忽略其交流压降，都可以视为短路

分析例题2-1，就计算结果展开讨论。

2. 动态分析（*）

- （1）晶体管的输入电阻 r_{be}
- （2）放大器的输入电阻 r_i
- （3）放大器的输出电阻 r_o
- （4）放大器空载的电压放大倍数

3. 图解法

- （1）作直流负载线
- （2）确定静态工作点
- （3）作交流负载线

第3讲 静态工作点稳定

教学目标：

了解静态工作点的特性、应用

教学 6 学时

教学重点

1. 波形失真与静态工作点的关系；
2. 稳定工作点偏置放大器

教学难点

1. 影响静态工作点的因素；
2. 截止失真、饱和失真；
3. 稳定工作点偏置放大器分析、计算思路。

教学手段：讲授

教学组织过程

教学适宜教师课堂讲授，用多媒体、EWB 电路仿真演示教学。

主要内容

为了使放大器能对输入信号不失真的放大，必须选择合适的工作点，但放大器在工作时会受到各种客观因素的影响。在引起Q点不稳定的诸多因素中，温度对晶体管参数的影响是主要因素。

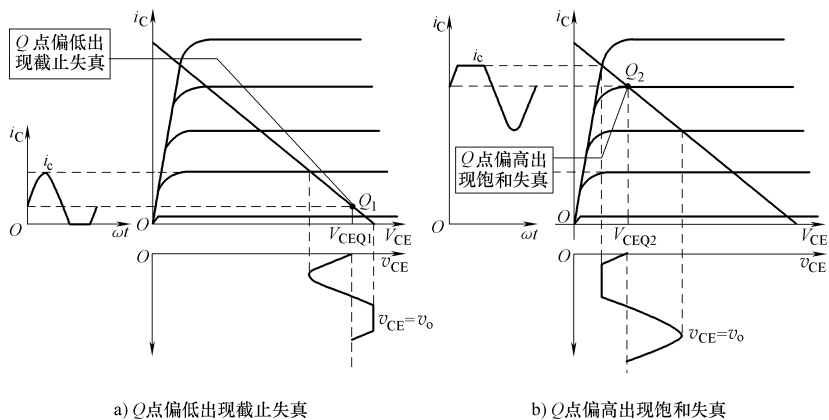
1. 影响静态工作点的因素

在引起Q点不稳定的诸多因素中，温度对晶体管参数的影响是主要因素。

2. 理解波形失真与静态工作点的关系

安装EWB软件，运行机械工业出版社网站提供的仿真电路，引导同学们识读电路波形。

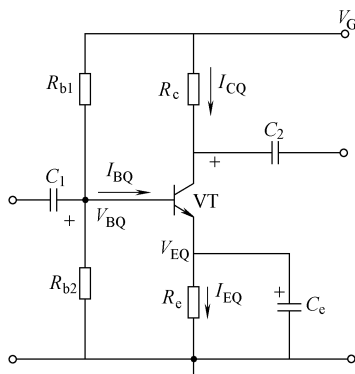
- （1）静态工作点合适波形良好 见P32图2-13所示。
- （2）工作点偏低易引起截止失真 见P33图2-14所示。
- （3）工作点偏高易引起饱和失真 见P33图2-15所示。



3. 稳定静态工作点偏置放大器

(1) 稳定静态工作点的原理

参考下图，分析稳定静态工作点就是稳定 I_{CQ} ，实质是负反馈控制。



温度 $T \uparrow \rightarrow I_{CQ} \uparrow \rightarrow I_{EQ} \uparrow \rightarrow V_{EQ} \uparrow \rightarrow V_{BEQ} (= V_{BQ} - V_{EQ}) \downarrow \rightarrow I_{BQ} \downarrow \rightarrow I_{CQ} \downarrow$

(2) 静态工作点的估算

$$I_{EQ} = \frac{V_{EQ}}{R_e} = \frac{V_{BQ} - V_{BEQ}}{R_e} \quad I_{EQ} \approx I_{CQ}, \quad \text{则}$$

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

以例2-2数据推导计算，然后对结果进行分析，并对“说明”的逐条内容进行详解。

4. 稳定工作点偏置放大器电路仿真

- (1) 静态分析 见P36图2-19所示直流工作点。
- (2) 旁路电容在路 见P37图2-20所示，电压放大倍数 $A_v = 12.5$ (倍)。
- (3) 旁路电容开路 见P38图2-21所示，电压放大倍数 $A_v = 4$ (倍)。

5. 稳定工作点偏置放大器应用实例

见P38图2-22所示

第4讲 实验二

教学目标：

了解放大电路的测试及应用

教学：4学时

教学重点

1. 稳定工作电路的结构、工作特点及元件参数选择；
2. 静态工作点计算；
3. 信号发生器、示波器使用方法。

教学难点

1. 信号发生器输出信号调节及故障排除；
2. 示波器测量波形调节、读取，计算。

教学手段：实验

教学组织过程

教学适宜教师实验室一体化讲授。探索理论知识和技能训练一体化的模式，把学生对理论知识的理解通过实践体验来印证和加深。

1. 讲述

本节课程是在《第2章》内容的基础上通过实验的方法巩固对理论知识的理解；通过理论计算和实际测量操作，对比分析电路的静态工作点；电会运用欧姆定律实际计算电路中各支路的电流。

2. 实验步骤

- (1) 把同学们带到实验室或项目室，安排大家坐下并保持安静；
- (2) 找课代表等几位同学到实验室仓库领元器件和电路板；
- (3) 分发焊锡丝、元器件等；
- (4) 按照<实验二报告>进程按排操作；
- (5) 现场指导同学们焊接、测试过程；
- (6) 指导同学们对电路直流参数的测量和计算
- (7) 提示同学们如何使用信号发生器、示波器；
- (8) 指导同学们分析测量和计算的合理与否。

3. 故障分析

在实验过程中，及时发现同学们在遇到的故障，并进行现场分析问题。这些问题有的是个别性，有的具有普遍性，都需要老师现场处理；然后，再指导其他同学避免。

课后，对这些的故障现象进行归纳，补充备课内容，在<点评实验报告>课上逐一评价。

4. 收缴实验报告

5. 点评实验报告（一节课）

第5讲 放大器的三种接法

教学目标：

了解放大器的特性、应用

教学：4学时

教学重点

1. 共集放大器的分析方法；
2. 共基放大器的分析方法；

教学难点

1. 放大器三种接法的比较

教学手段：讲授

教学组织过程

教学适宜教师课堂讲授。用多媒体、EWB 电路演示教学。

主要内容

晶体管的 3 种基本连接方式对比，跟同学们讲解图 2-23 只是交流等效模型，并不是实际电路。

1. 共集电极放大器（射极输出器）

(1) 静态工作点的估算 在基本公式阐述之后，分解例题2-3。

(2) 电压放大倍数的估算

用交流等效模型分析，输入电压 v_i 、输出电压 v_o 和晶体管发射结电压 v_{be} 三者之间有如下关系：

$$v_i = v_o + v_{be}; \text{ 通常 } v_{be} \ll v_i, \text{ 于是 } v_i \approx v_o$$

(3) 射极输出器的应用

射极输出器具有电压跟随作用和输入电阻大、输出电阻小的特点，且有较大的电流和功率放大作用，因而无论是在分立元件多级放大器还是在集成电路中，它都有十分广泛的应用。

2. 共集电极放大器仿真 (1) 静态分析 (2) 动态观察

3. 共基极放大器

(1) 共基极放大器电路分析

根据直流通路，可以估算它的静态工作点，方法与分压式稳定工作点偏置放大器的电路相同。

(2) 共基极放大器仿真 a) 静态分析 b) 动态观察

由于基极旁路电容 C_b 的移相作用，仿真电压波形（输入/输出）不完全同相位。

5. 放大器三种接法的比较 详细描述表2-11。

第 6 讲 多级放大器

教学目标：

了解多级放大器的特性、应用

教学：2 学时

教学重点

1. 多级放大器的耦合方式特点；
2. 阻容耦合多级放大器的动态分析方法；

教学难点

1. 阻容耦合多级放大器高、低频段放大倍数下降的原因。

教学手段：讲授

教学组织过程

教学适宜教师课堂讲授。

主要内容

1. 多级放大器的耦合方式

(1) 阻容耦合 见P44图2-32所示。

(2) 变压器耦合 见P45图2-33所示。

(3) 直接耦合 见P45图2-34所示。

3. 阻容耦合多级放大器的动态分析

(1) 阻容耦合多级放大器的电压放大倍数 见P46图2-36所示。

(2) 阻容耦合多级放大器的输入、输出电阻

4. 阻容耦合多级放大器的频率特性

(1) 单级放大器的频率特性 见P47图2-37所示。

(2) 在高频段和低频段放大倍数下降的原因

项目四、功率放大器的设计与制作

本章主要内容

1. 基本概念：反馈的定义；
2. 反馈类型判断：有无反馈？是正反馈、还是负反馈？是直流反馈、还是交流反馈？
3. 分立元件放大器反馈判断；
3. 交流负反馈的四种组态及判断方法；
4. 交流负反馈放大电路的一般表达式；
5. 放大电路中引入不同组态的负反馈后，对电路性能的影响；
6. 深度负反馈的概念，在深度负反馈条件下，放大倍数的估算；

本章课时分配 本章分为 4 讲，共 14 学时。

第 1 讲 反馈放大基本概念

教学目标：

了解反馈电路的结构、符号、特性、应用

教学：4 学时

教学重点

1. 负反馈概念
2. 各种反馈类型的判断

教学难点

并联和串联负反馈及电流负反馈的判断

教学手段：讲授

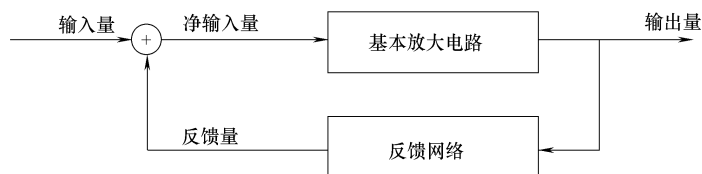
教学组织过程

主要内容

1. 反馈的基本概念

(1) 什么是反馈

反馈：将放大器输出信号的一部分或全部经反馈网络送回输入端。反馈的示意图见下图所示。反馈信号的传输是反向传输。



开环：放大电路无反馈，信号的传输只能正向从输入端到输出端。

闭环：放大电路有反馈，将输出信号送回到放大电路的输入回路，与原输入信号相加或相减后再作用到放大电路的输入端。

2. 反馈的判断

(1) 有无反馈的判断

反馈放大器的特征为是否存在反馈元件，反馈元件是联系放大器输出与输入的信号通道，因

此能否从电路中找到反馈元件是判断有无反馈的关键。

(2) 反馈极性的判断

根据反馈极性的不同，可将反馈分为正反馈与负反馈。使放大器净输入量增大的反馈称为正反馈，使放大器净输入量减小的反馈称为负反馈。放大器中主要采用负反馈，正反馈多用于振荡电路中。

判别反馈极性通常采用瞬时极性法，瞬时极性法是判断电路中反馈极性的基本方法。

- 1) 在输入端，先假定输入信号的瞬时极性；可用“+”、“-”或“↑”、“↓”表示；
- 2) 根据放大电路各级的组态，决定输出量与反馈量的瞬时极性；
- 3) 最后观察引回到输入端反馈信号的瞬时极性，若使净输入信号增强，为正反馈，否则为负反馈。

注意：* 极性按中频段考虑；

* 必须熟悉放大电路输入和输出量的相位关系。

* 反馈类型主要取决于电路的连接方式，而与 U_i 的极性无关。

对单个运放一般有：反馈接至反相输入端为负反馈反馈接至同相输入端为正反馈

3. 交流反馈与直流反馈

直流反馈：反馈信号只有直流成分；

交流反馈：反馈信号只有交流成分；

交直流反馈：反馈信号既有交流成分又有直流成分。

直流负反馈作用：稳定静态工作点；

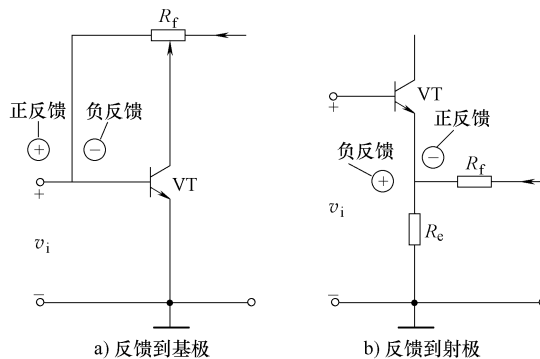
交流负反馈作用：从不同方面改善动态技术指标，对 A_u 、 R_i 、 R_o 有影响。

直、交流反馈方法判断：根据反馈网络中是否有动态元件进行判断。

- (1) 若反馈网络无动态元件（通常为电容），则反馈信号交、直流并存；
- (2) 若反馈网络有电容串联，则只有交流反馈；
- (3) 若反馈网络有电容并联，则只有直流反馈。

4. 分立放大器反馈的判断

把图和表格结合起来分解。



分立放大器反馈是以共发射极放大器和共集电极放大器为模型构筑判定方式、方法，着眼点为反馈信号回送基极或发射极，组合对应关系如下表：

信号输入	信号回馈电极			
	基 极		发 射 极	
基极为“+”	“-”负反馈	“+”正反馈	“-”正反馈	“+”负反馈
电路模型	共发射极放大器		共集电极放大器	

5. 电压反馈和电流反馈

- (1) 电压反馈：反馈信号的大小与输出电压成比例（采样输出电压）；
- (2) 电流反馈，反馈信号的大小与输出电流成比例（采样输出电流）。

(3) 判断方法:

将输出电压“短路”，若反馈回来的反馈信号为零，则为电压反馈；若反馈信号仍然存在，则为电流反馈。应用中，若要稳定输出端某一电量，则采样该电量，以负反馈形式送输入端。

电压负反馈作用：稳定放大电路的输出电压。

电流负反馈作用：稳定放大电路的输出电流。

6. 串联反馈和并联反馈

根据反馈信号在输入端的求和方式。

(1) 串联反馈：反馈信号与输入信号加在放大电路输入回路的两个电极上，此时反馈信号与输入信号是电压相加减的关系。

(2) 并联反馈，反馈信号加在放大电路输入回路的同一个电极，此时反馈信号与输入信号是电流相加减的关系。

判别方法：将反馈节点对地短接，若输入信号仍能送入放大电路，则反馈为串联反馈，否则为并联反馈

对于三极管来说，反馈信号与输入信号同时加在输入三极管的基极或发射极，则为并联反馈；一个加在基极，另一个加在发射极则为串联反馈。

对于运算放大器来说，反馈信号与输入信号同时加在同相输入端或反相输入端，则为并联反馈；一个加在同相输入端，另一个加在反相输入端则为串联反馈。

5) 正、负反馈极性的判断法之二:

在明确串联反馈和并联反馈后，正、负反馈极性可用下列方法来判断:

(1) 反馈信号和输入信号加于输入回路同一点时：瞬时极性相同的为正反馈；瞬时极性相反的是负反馈；

(2) 反馈信号和输入信号加于输入回路两点时：瞬时极性相同的为负反馈；瞬时极性相反的是正反馈。

对三极管放大电路来说这两点是基极和发射极，对运算放大器来说是同相输入端和反相输入端。

第 2 讲 反馈放大基本概念

教学目标:

了解反馈电路的结构、符号、特性、应用

教学：4 学时

教学重点

1. 负反馈放大电路的四种基本组态

教学难点

1. 负反馈放大电路的四种基本组态

教学手段：讲授

教学组织过程

主要内容

概述

负反馈放大电路反馈组态的判断方法:

(1) 从放大器输出端的采样物理量，看反馈量取自电压还是电流；

(2) 从输入端的连接方式，判断反馈是串联还是并联。

因此，两两组合可分为负反馈的基本组态类型：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。

1. 电压串联负反馈

(1) 电压串联负反馈



图4-7 电压串联负反馈模型框图

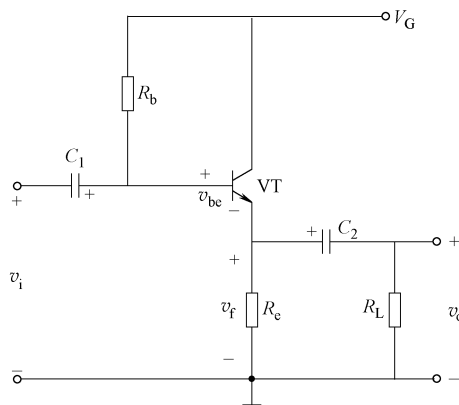


图4-8 电压串联负反馈放大器

图4-8所示为射极输出器，属于电压串联负反馈电路。分析方法如下：

- 1) 输出端：输出短路法→输出短路，反馈消失→判断是电压反馈；
- 2) 输入端：输入信号与反馈信号由不同端输入→判断是串联反馈；
- 3) 反馈量：反馈电压 v_f 与输入电压 v_i 逆向串联，净输入量 v_i' 减小，所以是负反馈。

2. 电压并联负反馈

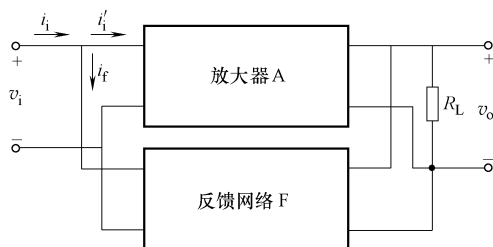


图4-9 电压并联负反馈模型框图

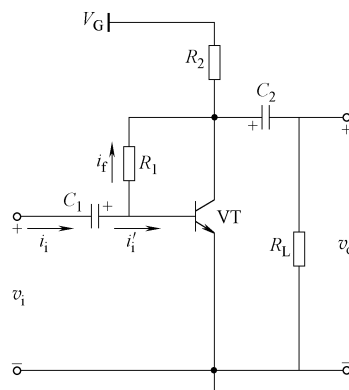


图4-10 电压并联负反馈放大器

如图4-10所示为集电极-基极偏置放大器，属于电压并联负反馈电路。分析方法如下：

- 1) 输出端：输出短路法→输出短路，反馈消失→判断是电压反馈；
- 2) 输入端：输入信号与反馈信号由同一端输入→判断是并联反馈；
- 3) 反馈量：输出电压与输入电压反相，反馈电流 i_f 使净输入电流 i_i' 减小，所以是负反馈。

3. 电流串联负反馈

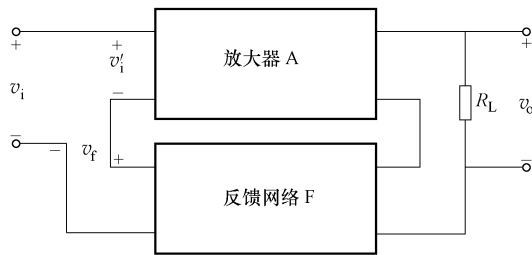


图4-11 电流串联负反馈模型框图

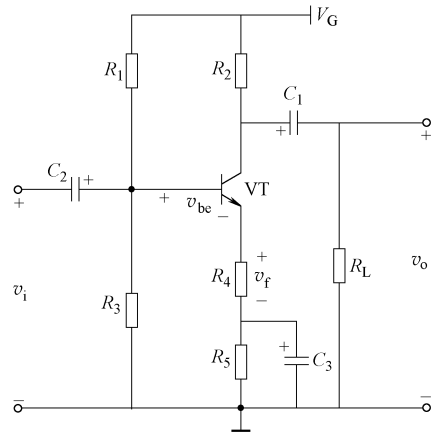


图4-12 电流串联负反馈放大器

如图4-12所示为分压式稳定工作点偏置放大器，属于电流串联负反馈电路。分析方法如下：

- 1) 输出端：输出短路法→输出短路，反馈依然存在→判断是电流反馈；
- 2) 输入端：输入信号与反馈信号由不同端输入→判断是串联反馈；
- 3) 反馈量：反馈电压 v_f 与输入电压 v_i 逆向串联，净输入量 v_i' 减小，所以是负反馈。

4. 电流并联负反馈

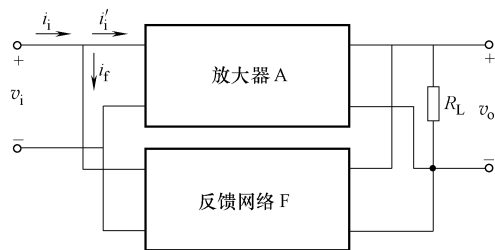


图4-13 电流并联负反馈模型框图

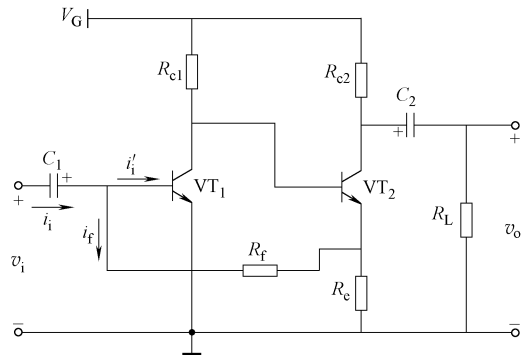


图4-14 电流并联负反馈放大器

如图4-14所示为电流并联负反馈放大器，属于电流并联负反馈电路。分析方法如下：

- 1) 输出端：输出短路法→输出短路，反馈依然存在→判断是电流反馈；
- 2) 输入端：输入信号与反馈信号由同一端输入→判断是并联反馈；
- 3) 反馈量：输出电流与输入电流反相，反馈电流 i_f 使净输入电流 i_i' 减小，所以是负反馈。

第3讲 负反馈对放大器性能的影响

教学目标：

了解反馈电路的结构、符号、特性、应用

教学：2 学时

教学重点

1. 负反馈会引起放大器电性能的影响

教学难点

1. 负反馈会展宽放大器的频带，改善非线性失真

教学手段：讲授

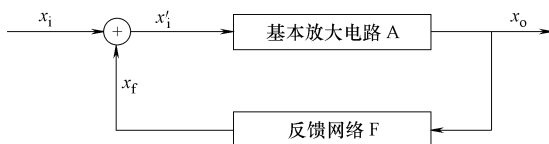
教学组织过程

主要内容

放大电路中引入交流负反馈后，其性能会得到多方面的改善，比如，可以稳定放大倍数，减小了非线性失真，展宽了通频带，改变了放大器的输入、输出电阻等，下面将一一加以说明。

1. 放大倍数下降，但稳定性提高

为了便于分析，假设负反馈放大器工作于中频段，信号无附加相移，如下图反馈放大器框图，图中 A 为基本放大器， F 为负反馈网络。



假设输入量为 x_i ，反馈量为 x_f ，净入量为 x'_i ，输出量为 x_o ，基本放大器的开环放大倍数用

$$A \text{ 表示。则 } A \text{ 为 } A = \frac{x_o}{x'_i}, \text{ 反馈系数 } F \text{ 为 } F = \frac{x_f}{x_o}$$

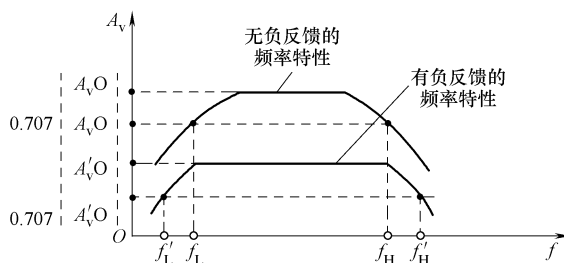
一般来说，负反馈放大器的放大倍数称为闭环放大倍数，用 A_f 表示，则 A_f 为 $A_f = \frac{x_o}{x_i}$

联立几式并考虑 $x_i = x_f + x'_i$ ，整理得： $A_f = \frac{A}{1 + AF}$ ，由此式可知，引入负反馈后，放大器的闭环放大倍数衰减为开环放大倍数的 $(1 + AF)$ 分之一。

通常称 $(1 + AF)$ 为反馈深度，当 $(1 + AF) \gg 1$ 时，称深度负反馈。此时，有 $A_f \approx \frac{1}{F}$ ，此式表明，在深度负反馈条件下，放大器的闭环放大倍数已与开环放大倍数无关，它不再受放大器各种参数的影响，而只由反馈系数 F 决定。因此，只要采用高稳定性的反馈元件，闭环放大倍数 A_f 也就能获得很高的稳定性。

2. 展宽了通频带

放大器引入负反馈后，放大倍数下降，但放大倍数的稳定性得以提高，由于频率不同而引起的放大倍数的变化也因此而减小了。在不同频段，放大倍数的下降幅度不同，在中频段，原放大倍数最大，但反馈信号也相应较大，所以放大倍数下降较多；而在高频段和低频段，由于原放大倍数较小，反馈信号相应较小，则放大倍数下降也较小，结果使放大器的幅频特性趋于平缓，即通频带展宽了，如下图所示。



3. 改变了放大器的输入、输出电阻

(1) 对输入电阻的影响

负反馈对放大器输入电阻的影响取决于反馈信号在输入端的连接方式：**串联负反馈使输入电阻增大，并联负反馈使输入电阻减小。**

见P77图4-17所示，输入信号 v_i 不变，但净输入电压 $v_i' = v_i - v_f$ 减小了，输入电流 i_i 也随之减小（遵循欧姆定律）。既然**闭环放大器**的输入电压不变（信号源决定）而输入电流减小，由 $r_i = v_i / i_i$ 可知输入电阻增大了。也就是说，**串联负反馈使输入电阻增大**，电路的这种状态可以理解为放大网络输入电阻和反馈网络电阻的串联！

见P77图4-17b所示，输入信号 v_i 不变，净输入电流 $i_i' = i_i - i_f$ ，即， $i_i = i_i' + i_f$ 。既然**闭环放大器**的输入电压不变（信号源决定）而总电流增大了，由 $r_i = v_i / i_i$ 可知输入电阻减小了。也就是说，**并联负反馈使输入电阻减小**，电路的这种状态可以理解为放大网络输入电阻和反馈网络电阻的并联！

(2) 对输出电阻的影响

输出电阻是从放大器输出端看进去的等效内阻，因而负反馈对输出电阻的影响取决于反馈信号从输出端的取样方式，即取决于电路引入的是电压反馈还是电流反馈。**电压负反馈使输出电阻减小，电流负反馈使输出电阻增大。**

4. 减小了非线性失真

见P78图4-18所示。

第3讲 实验四

教学目标：

了解反馈电路的结构、符号、特性、应用

教学：4学时

教学重点

1. 稳定工作电路的结构、工作特点及元件参数选择；
2. 静态工作点计算；
3. 信号发生器、示波器使用方法。

教学难点

1. 信号发生器输出信号调节及故障排处；
2. 示波器测量波形调节、读取，计算。

教学手段：讲授、实验

教学组织过程

教学适宜教师实验室**一体化讲授**。探索理论知识和技能训练一体化的模式，把学生对理论知识的理解通过实践体验来印证和加深。

1. 讲述

本节课程是在《第4章》内容的基础上通过实验的方法巩固对理论知识的理解；通过理论计算和实际测量操作，对比分析电路的静态工作点；电会运用欧姆定律实际计算电路中各支路的电流。

2. 实验步骤

- (1) 把同学们带到实验室或项目室，安排大家坐下并保持安静；
- (2) 找课代表等几位同学到实验室仓库领元器件和电路板；
- (3) 分发焊锡丝、元器件等；
- (4) 按照<实验三报告>进程按排操作；
- (5) 现场指导同学们焊接、测试过程；
- (6) 指导同学们对电路直流参数的测量和计算
- (7) 指导同学们分析测量和计算的合理与否。

3. 故障分析

在实验过程中，及时发现同学们在遇到的故障，并进行现场分析问题。这些问题有的是个别性，有的具有普遍性，都需要老师现场处理；然后，再指导其他同学避免。

课后，对这些的故障现象进行归纳，补充备课内容，在<点评实验报告>课上逐一评价。

4. 收缴实验报告

5. 点评实验报告（一节课）

项目五、信号发生器的设计与制作

本章主要内容

本章重点讲述集成运放的主要参数和分类；理想集成运放工作于线性和非线性状态时的特点；由集成运放组成的比例、加减电路的工作原理及运算关系；解电压比较器和方波发生器的工作原理等。

本章课时分配 本章分为 7 讲，共 24 学时。

第 1 讲 集成运算放大器（1）

教学目标：

了解集成电路的结构、符号、特性、应用

教学：4 学时

教学重点

1. 集成运放的主要参数和理想特性；
2. 集成运放在线性区的工作特点；
3. 集成运放的两种基本电路。

教学难点

1. 集成运放的主要参数和理想特性；
2. 集成运放在线性区的工作特点；

教学手段：讲授

教学组织过程

教学适宜教师课堂讲授，用 EWB 电路仿真等教学手段，便于学生理解和掌握。

主要内容

1. 认识集成运放

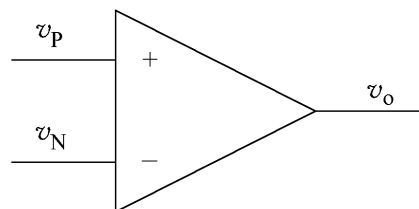
见 P80 图 5-1、5-2。

2. 集成运放的工作特点

（1）集成运放的理想特性

在分析集成运放组成的电路时，为了使问题简化，通常把集成运放看成是一个理想器件，其等效电路如图5-3所示。

它具备以下理想特性：



1) 开环差模电压放大倍数: $A \rightarrow \infty$

2) 开环差模输入电阻: $r_i \rightarrow \infty$;

3) 输出电阻: $r_o \rightarrow 0$ 。

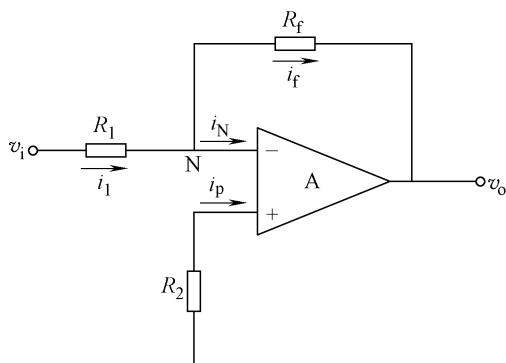
图5-3 运算放大器图形符号

(2) 理想集成运放工作在线性区的特点

“虚短”概念, “虚断”概念

3. 集成运放的两种基本电路

(1) 反相放大器

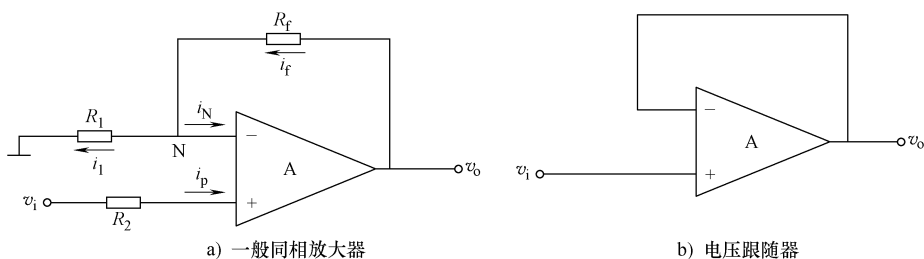


$$A_v = v_o / v_i = -\frac{R_f}{R_1}$$

(2) 反相放大器仿真

见 P82 图 5-5, 观察图中输入、输出电压的相位, 理解它们的相位关系。

(3) 同相放大器



a) 一般同相放大器

b) 电压跟随器

$$A_v = v_o / v_i = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

(4) 同相放大器仿真

见 P84 图 5-7, 观察图中输入、输出电压的相位, 理解它们的相位关系。

第 2 讲 集成运算放大器 (2)

教学目标:

了解集成电路的结构、符号、特性、应用

教学: 2 学时

教学重点

1. 加、减法运算电路
2. 运算电路应用实例。

教学难点

1. 减法运算电路。

教学手段：讲授

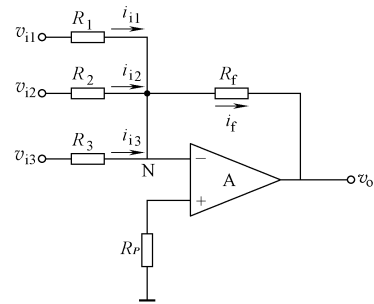
教学组织过程

教学适宜教师课堂讲授，用 EWB 电路仿真等教学手段，便于学生理解和掌握。

主要内容

1. 认识集成运放

(1) 加法运算电路 见右图，该图是在把原图基础上修改的，把原图电阻下标改为11、12、13改为1、2、3，电流下标改为*i*₁、*i*₂、*i*₃，把同相端电阻改为 *R_p*)。



根据“虚断”特性有

$$i_{i1} + i_{i2} + i_{i3} = i_f \quad (5-8)$$

把式 (5-8) 转换成电压/电阻，则有

$$\frac{v_{i1} - v_N}{R_1} + \frac{v_{i2} - v_N}{R_2} + \frac{v_{i3} - v_N}{R_3} = \frac{v_N - v_o}{R_f} \quad (5-9)$$

由于集成运放反相输入端为“虚地”点，即 $v_N = 0$ 。若 $R_1 = R_2 = R_3 = R_f$ ，可得

$$v_o = -(v_{i1} + v_{i2} + v_{i3}) \quad (5-10)$$

式 (5-10) 表明，输出电压为各输入电压之和，实现了加法运算。

(2) 减法运算电路

电路采用差分输入形式，即反相端和同相端都输入信号，见P85图5-9a。

图5-9b，当 v_{i1} 单独作用时，电路等效为反相比例放大器，输出电压 v_{o1} 为

$$v_{o1} = -\frac{R_f}{R_1} v_{i1} \quad (5-11)$$

图5-9c，当 v_{i2} 单独作用时，电路等效为同相比例放大器。先求同相端电压 v_p ，根据“虚断”

特性 ($i_p = 0$)，则有 $v_p = \frac{R_3}{R_2 + R_3} v_{i2}$ ；根据“虚短”特性，则有 $v_p = \frac{R_3}{R_2 + R_3} v_{i2} = v_N$ 。

于是有

$$v_{o2} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) v_p = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right) v_{i2} \quad (5-12)$$

联立式 (5-11), 式 (5-12), 即当 v_{i1} 与 v_{i2} 共同作用时, 有

$$v_o = v_{o1} + v_{o2} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right) v_{i2} - \frac{R_f}{R_1} v_{i1} \quad (5-13)$$

(书中本公式有错误, 请老师在讲解时指出)

若 $R_1 = R_f$, $R_2 = R_3$, 上式简化为

$$v_o = v_{i2} - v_{i1} \quad (5-14)$$

2. 运算电路应用实例 (*)

见 P86 图 5-10、5-11 以及仿真电路图 5-12。

第 3 讲 实验五

教学目标:

了解集成电路的测试方法

教学: 4 学时

教学重点

本节课程通过简易助听器制作实验, 熟悉集成运放电路的基本结构; 掌握集成运放单电源工作时静态工作点设置方法和电压放大倍数的计算; 熟悉同相比例放大器、反相比例放大器实际电路和交流模型的异同点。

教学难点

1. 集成运放单电源工作时静态工作点设置方法;

教学手段: 讲授

教学组织过程

教学适宜教师实验室一体化讲授。探索理论知识和技能训练一体化的模式, 把学生对理论知识的理解通过实践体验来印证和加深。

1. 讲述

本节课程是在《第 5 章》内容的基础上通过实验的方法巩固对理论知识的理解; 通过理论计算和实际测量操作, 对比分析电路的静态工作点; 电会运用欧姆定律实际计算电路中各支路的电流。

2. 实验步骤

- (1) 把同学们带到实验室或项目室, 安排大家坐下并保持安静;
- (2) 找课代表等几位同学到实验室仓库领元器件和电路板;
- (3) 分发焊锡丝、元器件等;
- (4) 按照<实验 5 报告>进程安排操作;
- (5) 现场指导同学们焊接、测试过程;
- (6) 指导同学们对电路直流参数的测量和计算
- (7) 指导同学们分析测量和计算的合理与否。

3. 故障分析

在实验过程中, 及时发现同学们在遇到的故障, 并进行现场分析问题。这些问题有的是个别性, 有的具有普遍性, 都需要老师现场处理; 然后, 再指导其他同学避免。

课后, 对这些的故障现象进行归纳, 补充备课内容, 在<点评实验报告>课上逐一评价。

4. 收缴实验报告

5. 点评实验报告（一节课）

第4讲 电压比较器（1）

教学目标：

了解电压比较器电路的结构、符号、特性、应用

教学：4学时

教学重点

1. 集成运放非线性区的工作特点；
2. 单门限比较器；
3. 双单门限比较器。

教学难点

1. 集成运放非线性区的工作特点；
2. 双门限比较器。

教学手段：讲授

教学组织过程

教学适宜教师课堂讲授，用 EWB 电路仿真等教学手段，便于学生理解和掌握。

主要内容

概述

电压比较器输出电压 v_o 与输入电压 v_i 的函数关系 $v_o = f(v_i)$ 一般用曲线来描述，称为电压传输特性。输入电压 v_i 是模拟信号，而输出电压 v_o 只有两种可能的状态，不是高电平 V_{OH} ，就是低电平 V_{OL} ，用以表示比较的结果。使 v_o 从 V_{OH} 跃变为 V_{OL} ，或者从 V_{OL} 跃变为 V_{OH} 的输入电压称为阈值电压，或转折电压，记作 V_T 。

为了画出电压传输特性，必须求出三个要素：

- （1）输出电压电平 V_{OH} 和低电平 V_{OL} 的数值；
- （2）阈值电压 V_T 的数值。
- （3）当 v_i 变化且经过 V_T 时， v_o 跃变的方向，即是从 V_{OH} 跃变为 V_{OL} ，还是反方向。

1. 集成运放的非线性工作区

见 P89图5-13所示，集成运放的非线性工作区的工作特点：

- （1）当 $v_p > v_n$ 时， $v_o = V_{OH}$ ，正电源电压最大值。
- （2）当 $v_p < v_n$ 时， $v_o = V_{OL}$ ，负电源电压最大值。

2. 单门限电压比较器

（1）过零比较器

见 P90图5-14所示，过零比较器电路结构和电压传输特性（曲线）。

输入/输出反向变化——输入电压较低时、输出为 $+V_{OM}$ ；输入电压较高时、输出为 $-V_{OM}$ 。

(2) 一般单门限比较器

见P91图5-15所示，单门限比较器电路结构和电压传输特性（曲线）。

输入/输出正向变化——输入电压较低时、输出为 $-V_{OM}$ ；输入电压较高时、输出为 $+V_{OM}$ 。

3. 双门限电压比较器

见P92图5-17所示，单门限比较器电路结构和电压传输特性（曲线）。

提示：这一部分知识有一定难度，需要老师细腻讲解、推导公式；

第5讲 电压比较器（2）

教学目标：

了解电压比较器电路的结构、符号、特性、应用

教学：4学时

教学重点

1. 方波发生较器

教学难点

1. 方波发生较器

教学手段：讲授

教学组织过程

教学适宜教师课堂讲授，用 EWB 电路仿真等教学手段，便于学生理解和掌握。

主要内容

1. 方波发生器

见P94图5-20所示，方波发生器电路结构和电压传输特性（曲线）。

(1) 工作原理

(2) 振荡周期及其调节

(3) 占空比

2. 集成放大器反馈的判断

见 P96 表 5-1 所示

提示：这一部分知识有一定难度和广度，讲解时可深可浅，由老师根据学生实际情况决断。

3. 比较器的应用实例一

(1) 基准电压 V_{ref} 形成

(2) 大电流充电

(3) 小电流充电

4. 集成运放两种工作状态比较

见 P96 表 5-2 所示

提示：这一部分知识要细讲解，是对集成运放两种工作状态的总结。

第6讲 实验六

教学目标：

了解电压比较器电路的测试应用

教学：4学时

教学重点

本节课程通过对方波发生器的实验，熟悉方波发生器和三角波电路的基本结构；领会方波发

生器的工作原理，体验实际测试时出现与理论不符的情况；熟悉常用示波器、稳压电源的使用；通过实际测量操作，从感性上认识和体验方波发生器的特性。

教学难点

1. 集成运放单电源工作时静态工作点设置方法；
2. 示波器测量波形调节、读取。

教学手段：实验

教学组织过程

教学适宜教师实验室**一体化讲授**。探索理论知识和技能训练一体化的模式，把学生对理论知识的理解通过实践体验来印证和加深。

1. 讲述

本节课程是在《第 5 章》内容的基础上通过实验的方法巩固对理论知识的理解；通过理论计算和实际测量操作，对比分析电路的静态工作点；电会运用欧姆定律实际计算电路中各支路的电流。

2. 实验步骤

- (1) 把同学们带到实验室或项目室，安排大家坐下并保持安静；
- (2) 找课代表等几位同学到实验室仓库领元器件和电路板；
- (3) 分发焊锡丝、元器件等；
- (4) 按照<实验 6 报告>进程按排操作；
- (5) 现场指导同学们焊接、测试过程；
- (6) 指导同学们分析测量和计算的合理与否。

3. 故障分析

在实验过程中，及时发现同学们在遇到的故障，并进行现场分析问题。这些问题有的是个别性，有的具有普遍性，都需要老师现场处理；然后，再指导其他同学避免。

课后，对这些的故障现象进行归纳，补充备课内容，在<点评实验报告>课上逐一评价。

4. 收缴实验报告

5. 点评实验报告（一节课）

第 7 讲 习题课

教学目标：

了解电压比较器电路的分析方法

教学：4 学时

教学重点

教学重点讲习题五。

项目六、表决器设计与制作

本章主要内容

本章重点讲述调谐放大器的作用以及单回路和双回路两种调谐放大器电路的组成和选频特性；正弦波振荡电路产生自激振荡的条件；变压器耦合式与三点式振荡器电路组成及工作原理；石英晶体振荡器基本形式及工作原理；RC桥式振荡器的电路组成、元件作用等。

本章课时分配 本章分为 5 讲，共 16 学时。

第 1 讲 调谐器

教学目标：

了解调谐器电路的结构、符号、特性、应用

教学重点（教学 4 学时）

1. LC 谐振电路的特性及应用；
2. 单调谐放大器和双调谐放大器。

教学难点

1. 单调谐放大器电路及谐振曲线；
2. 双调谐放大器 3 中耦合强度电压增益曲线；

教学手段：讲授

教学组织过程

教学适宜教师课堂讲授。

主要内容

1. LC 谐振电路及应用

（1）LC 谐振电路 见 P102 图 6-1。

当信号源输出频率较低时，电感 L 的阻抗很小，并联电路的总阻抗约等于电感 L 的阻抗；当信号源输出频率较高时，电容 C 的容抗很小，并联电路的总阻抗约等于电容 C 的容抗。当信号源输出频率为某一个固有频率时，LC 并联电路的阻抗最大，此时电路发生谐振，该频率称为谐振频率 f_0 ， f_0 为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

（2）调谐放大器 见 P102 图 6-2。

如图 6-2a 所示，用 LC 并联电路取代放大器中原负载电阻（大多图 6-2 调谐放大器 么电

路？），则放大器既具有选频功能，又有放大

能力。对于频率等于 f_0 的信号输出电压最大，

即具有最大的电压放大倍数 A_{v0} ，一旦信号偏

离 f_0 ，则电压放大倍数明显下降（如图 6-2b

所示）。这种表示调谐放大器的放大倍数与信号

频率关系的曲线，称为调谐放大器的谐振曲

线，它和 LC 并联电路的频率特性曲线密切相关。

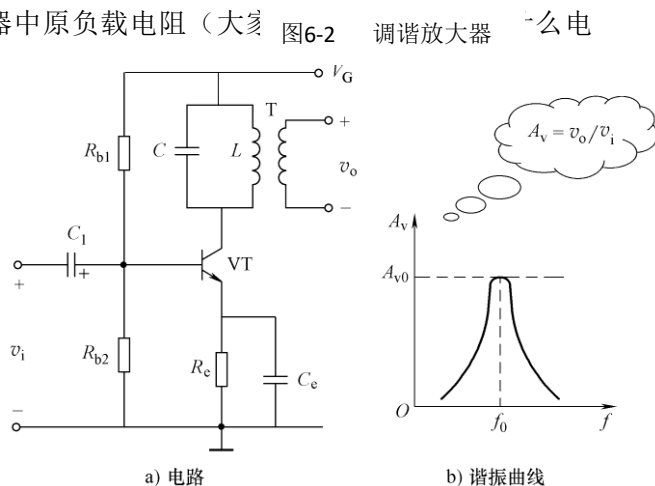
2. 单调谐放大器

见 P103 图 6-3。单调谐回路的并联谐振阻抗在谐振频率附近的数值很大，放大器可得到很大的电压增益。而在偏离谐振点较远的频率上，回路阻抗下降很快，使放大器增益迅速减小。

3. 双调谐放大器

见 P104 图 6-5。典型电路为互感耦合和电容耦合双调谐放大器。

见 P104 图 6-6。描述双调谐放大器 3 种耦合强度电压增益曲线各自特点。



第 2 讲 正弦波振荡器

教学目标：

了解正弦波电路的结构、符号、特性、应用

教学：4 学时

教学重点

1. 正弦波振荡器基本知识；
2. LC 正弦波振荡器。

教学难点

1. 自激振荡的条件；

教学手段：讲授

教学组织过程

教学适宜教师课堂讲授。

主要内容

概述

振荡器是以调谐放大器为基础再加正反馈网络构成的，它和放大器一样也是一种能量换装置。但是，放大器需要输入信号才能输出信号，而振荡器无需外加信号，就能自动产生一定频率、一定振幅和一定波形的交流信号，从而将直流电源提供的直流电能转换成振荡信号的交流电能。如果振荡器所产生交流信号是正弦波，则称正弦波振荡器。

1. 正弦波振荡器

(1) 正弦波振荡器的组成

见P105图6-7。

从以上分析可知，正弦波振荡器必须包括以下四个部分：

- 1) 放大电路 保证电路具有足够的电压放大倍数。
- 2) 选频网络 确定电路的振荡频率，使电路产生单一频率的振荡，即保证电路产生正弦波振荡。
- 3) 正反馈网络 引入正反馈，使放大电路的输入信号等于反馈信号。
- 4) 稳幅环节 也就是非线性环节，使输出信号幅值稳定。

(2) 自激振荡的条件

- 1) 相位平衡条件

$$\Phi_A + \Phi_F = 2n\pi, \quad n = 0, 1, 2, 3\dots$$

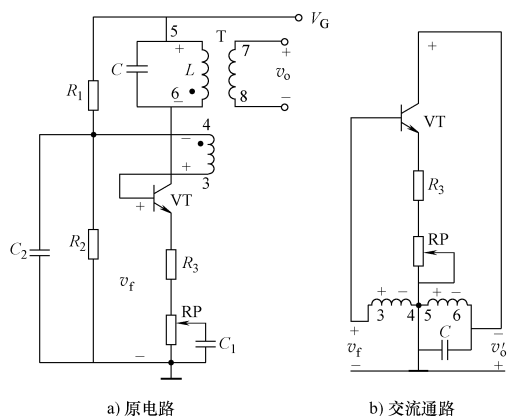
- 2) 振幅平衡条件

$$AF = 1$$

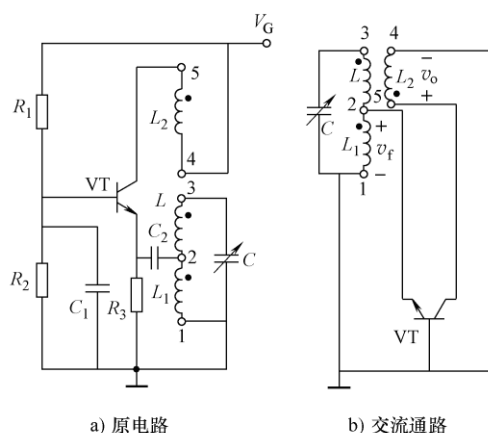
2. 变压器反馈式LC振荡器

(1) 共射变压器反馈式LC振荡器

共发射极



共基极



(2) 共基变压器反馈式LC振荡器

第3讲 正弦波振荡器

教学目标:

了解正弦波电路的结构、符号、特性、应用

教学: 4 学时

教学重点

1. 三点式 LC 振荡器;
2. 石英晶体振荡器。

教学难点

1. 三点式 LC 振荡器;

教学手段: 讲授

教学组织过程

教学适宜教师课堂讲授。用多媒体演示晶体管的结构、用 EWB 仿真电路演示电路的振荡波形, 便于学生理解和掌握。

主要内容

1. 三点式LC振荡器

- (1) 电感三点式LC振荡器 见P109图6-12。

$$\text{振荡频率 } f_0 \text{ 为 } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L_1 + L_2 + 2M)C}}$$

- (2) 电容三点式LC振荡器 见P110图6-13。

$$\text{振荡频率 } f_0 \text{ 为 } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_1 // C_2)}}$$

- (3) 改进型电容三点式LC振荡器 见P110图6-14。

$$\text{振荡频率 } f_0 \text{ 为 } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_1 // C_2 // C_3)}}, \text{ 由于 } C_3 \text{ 远小于 } C_1 \text{ 和 } C_2, \text{ 则 } f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_3}}$$

(4) 对表6-2进行回顾总结

2. 石英晶体的特性

- (1) 压电效应和压电谐振 见P113图6-15、6-16。
- (2) 等效电路和振荡频率 见P114图6-17。

3. 石英晶体振荡器

- (1) 串联型石英晶体振荡器 见P114图6-18。
- (2) 并联型石英晶体振荡器 见P115图6-19。

第4讲 RC桥式振荡器

教学目标:

了解RC电路的结构、符号、特性、应用

教学: 2学时

教学重点

- 1. RC串并联网络的选频特性;
- 2. RC桥式振荡器。

教学难点

- 1. RC串并联网络的选频特性;

教学手段: 讲授

教学组织过程

教学适宜教师课堂讲授。用多媒体演示晶体管的结构、用EWB仿真电路演示电路的振荡波形, 便于学生理解和掌握。

主要内容

当需要低频信号时, 如果仍采用LC振荡器, L和C的取值就相当大(为什么?), 这会带来很多不便。因此, 在需要几十千赫以下的低频信号时, 常采用RC振荡器。实用的RC振荡器电路多种多样, 这里仅介绍最具典型性的RC桥式正弦波振荡电路的组成、工作原理和振荡频率。

1. RC串并联选频网络

输入信号 v_i 整个施加在RC串并联网络两端, 输出信号 v_o 取至RC并联网络两端, 输出电压 v_o

是输入电压 v_i 的一部分, 下面推导 v_o 和 v_i 的数量关系。

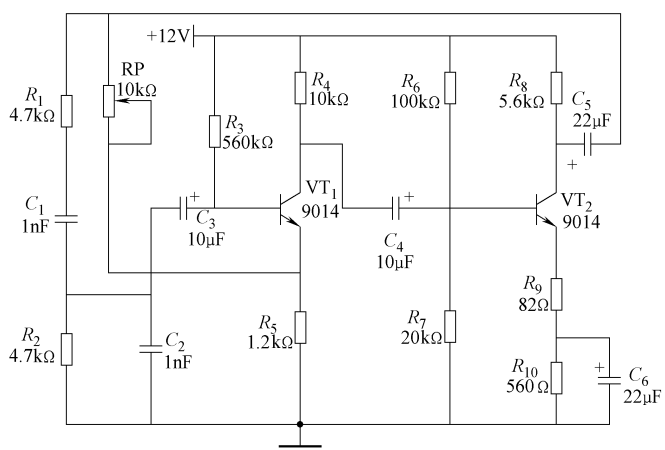
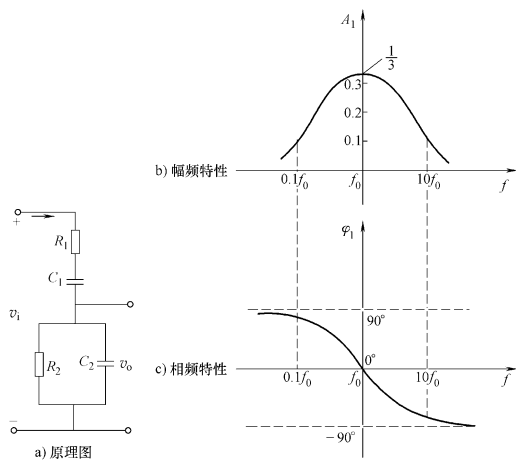
$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{R // \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C} + R // \frac{1}{j\omega C}}, \quad \text{又 } R // \frac{1}{j\omega C} = \frac{R}{1 + j\omega RC}$$

联立式化简得

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{j\omega RC}{1 - \omega^2 R^2 C^2 + 3 \times j\omega RC}$$

ω 是角频率, $\omega = 2\pi f$ 。设 $f_0 = 1/2\pi RC$, 当 $f = f_0$ 时, $\omega = 1/RC$, 代入上有 $\frac{v_o}{v_i} = \frac{1}{3}$,

此时，输出电压 v_o 幅度最高，且附加相移为零（消掉虚数单位 j ，如书中图6-21b、c）。



RC 串并联选频网络

分立式 RC 桥式振荡器

2. 分立式 RC 桥式振荡器

分立式 RC 桥式振荡器如书中图6-22所示。VT₁、VT₂组成两级共射放大电路，由于两级共射放大器均为反相放大，所以经两级放大输出就是同相放大。电阻R₁、R₂和C₁、C₂是RC串并联网络；它的输入端是R₁上边，而它的输出端是中间，RC串并联网络的输入端就是两级放大器的输出端，而RC串并联网络的输出端接两级放大器的输入端，这样就构成了一个闭环。

3. 集成式 RC 桥式振荡器

电路见P117图6-22、波形见P118图6-23（书中两波形的标注错了，应改对调，笔者审查不周，遗憾！）

虚拟示波器A通道输入接“运放同相端”，B通道输入接“运放输出端”，图6-23显示输入、输出信号峰值纵向所占格数、挡位关系及电压峰值见下表6，电压放大倍数正好为3（倍）——再一次印证了前面的理论分析。

	纵向格数/格	电压挡位/V/div	电压峰值/V	电压放大倍数 (V_o/V_i)
输入信号	3	1	3	3
输出信号	1.8	5	9	

第5讲 实验七

教学目标:

了解 RC 电路的测试

教学: 4 学时

教学重点

本节课程通过对RC桥式振荡电路的制作实验,熟悉RC桥式振荡电路的基本结构,领会RC桥式振荡电路的工作原理,体验实际测试时出现与理论不符的情况。熟悉常用示波器、信号发生器、稳压电源的使用。通过实际测量操作,从感性上认识和体验RC桥式振荡电路的特性。

教学难点

1. 集成运放单电源工作时静态工作点设置方法;
2. 示波器测量波形调节、读取。

教学手段: 实验

教学组织过程

教学适宜教师实验室**一体化讲授**。探索理论知识和技能训练一体化的模式,把学生对理论知识的理解通过实践体验来印证和加深。

1. 讲述

本节课程是在《第6章》内容的基础上通过实验的方法巩固对理论知识的理解;通过理论计算和实际测量操作,体会集成运放的又一实际应用;集成运放同相输入端和输出端电压大小关系、相位关系。

2. 实验步骤

- (1) 把同学们带到实验室或项目室,安排大家坐下并保持安静;
- (2) 找课代表等几位同学到实验室仓库领元器件和电路板;
- (3) 分发焊锡丝、元器件等;
- (4) 按照<实验7报告>进程按排操作;
- (5) 现场指导同学们焊接、测试过程;
- (6) 指导同学们分析测量和计算的合理与否。

3. 故障分析

在实验过程中,及时发现同学们在遇到的故障,并进行现场分析问题。这些问题有的是个别性,有的具有普遍性,都需要老师现场处理;然后,再指导其他同学避免。

课后,对这些的故障现象进行归纳,补充备课内容,在<点评实验报告>课上逐一评价。

4. 收缴实验报告

5. 点评实验报告 (一节课)

项目七、抢答器的设计与制作

本章重点讲述功率放大器的主要任务、基本要求和分类;功率放大器与一般电压放大器的区别;甲类、乙类和甲乙类功放电路的特点;变压器耦合功率放大器的组成形式、工作状态与特点;OTL、OCL和BTL功率放大器的组成形式、工作状态和特点以及电路主要元件的功能等。

本章课时分配 本章分为 4 讲,共 16 学时。

第1讲 功率放大器的基本要求及分类

教学目标:

了解功率放大电路的结构、符号、特性、应用

教学重点 (教学 4 学时)

1. 功率放大器的主要技术指标;
2. 功率放大器的分类及分析方法;
3. 变压器耦合功率放大器。

教学难点

1. 功率放大器的分类及分析方法;
2. 变压器耦合功率放大器。

教学手段：讲授

教学组织过程

教学适宜教师课堂讲授。

主要内容

概述

前面所讨论的低频电压放大器的主要任务是把微弱的信号电压放大，输出功率并不一定大。而在实际应用中，往往要求多级放大器的末级能输出足够的功率驱动负载正常工作，如使扬声器发声、继电器动作、仪表显示、伺服电动机转动等。这类主要用于向负载提供足够信号功率的放大电路称为功率放大器，简称功放。本章主要讨论低频功率放大器，即低频功放。

1. 功率放大器的主要技术指标

- (1) 足够的输出功率 (2) 效率要高 (3) 非线性失真要小 (4) 功放管散热要好

2. 功率放大器的分类

- (1) 按功放管静态工作点的设置分类

根据功放管静态工作点 Q 在交流负载线上的位置不同，可分为甲类、乙类、甲乙类等，它们的电路结构及工作特性对比见表7-1。

- (2) 按功率放大器的输出端的特点分类

- 1) 变压器耦合功率放大器
- 2) 输出无变压器功率放大器 (OTL)
- 3) 输出无电容功率放大器 (OCL)
- 4) 桥式推挽功率放大器 (BTL)

3. 功率放大器的分析方法

因为功率放大电路输出电压和输出电流幅值均很大，功率管特性的非线性不可忽略；所以在分析功放电路时，不能采用仅适合于小信号的交流等效电路法，而应采用图解法。

4. 变压器耦合功率放大器

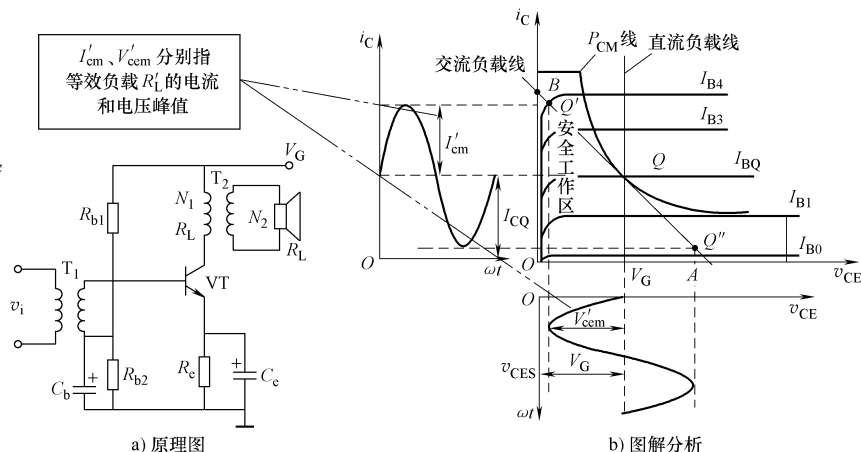
- (1) 电路原理

理想情况下，最大输出功率为

$$P_{om} = \frac{I_{cm}}{\sqrt{2}} \times \frac{V_{cm}}{\sqrt{2}} = \frac{I_{CQ}}{\sqrt{2}} \frac{V_G}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2} I_{CQ} V_G$$

式中， I_{cm} 指负载 R'_L 电流峰值

(图7-2a中 I'_{cm})， I_{CQ} 指静态工作



点电流，两者数量相等； V_{cm} 指负载 R'_L 电压峰值（即图7-2a中 V'_{cem} ），最大时等于电源电压 V_G 。

最大不失真时，集电极电流平均值为 I_{CQ} ，所以直流电源提供功率为 $P_{DC} = I_{CQ}V_G$ ，可见电路的最大效率

$$\eta = \frac{P_{om}}{P_{DC}} = 50\%$$

(2) 变压器耦合乙类推挽功率放大器 见P124图7-3、7-4。

(3) 甲乙类推挽功率放大器 见P125图7-5、7-6。

第2讲 互补对称功率放大器（1）

教学目标：

了解 OTL\OCL 电路的结构、符号、特性、应用

教学：4 学时

教学重点

1. 单电源互补对称功率放大器；

2. 双电源互补对称功率放大器；

教学难点

1. 单电源互补对称功率放大器；

教学手段：讲授

教学组织过程

教学适宜教师课堂讲授，用 EWB 电路仿真等教学手段，便于学生理解和掌握。

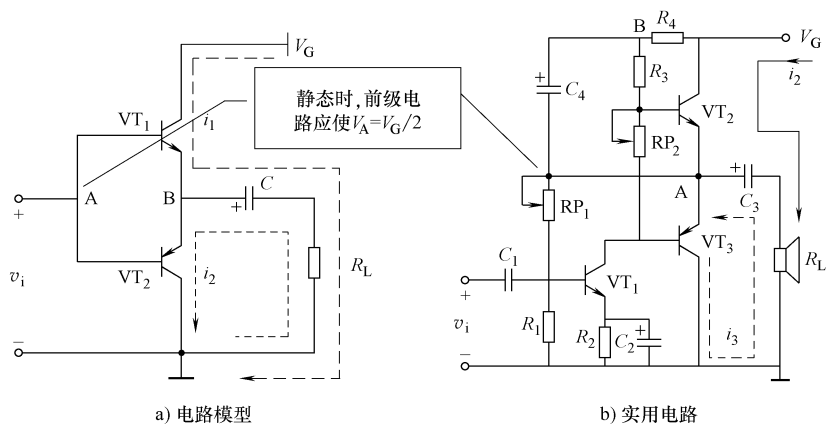
主要内容

概述

目前，变压器耦合功率放大器基本被淘汰，使用最广泛的是无输出变压器的功率放大器（OTL）和无输出电容的功率放大器（OCL）。它们都是采用不同类型的两只功放管交替工作，并且都接成射极跟随器的输出形式，工作原理基本相同。

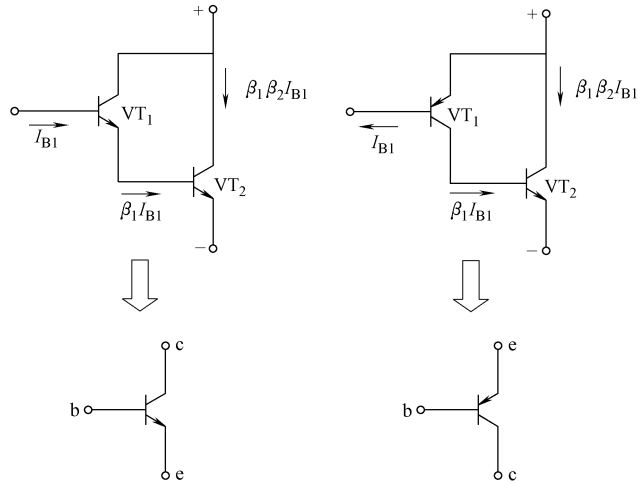
1. 单电源互补对称功率放大器（OTL）

（1）OTL功放电路基本模型



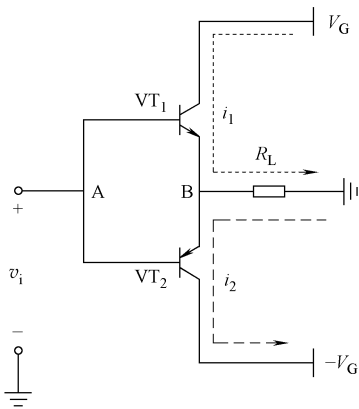
（2）实用的OTL电路

(3) 复合管OTL电路

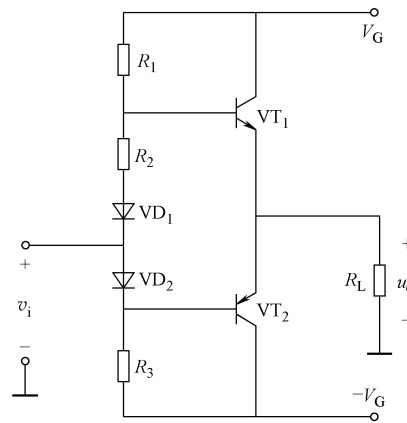


2. 双电源互补对称功率放大器 (OCL)

(1) OCL功放电路基本模型



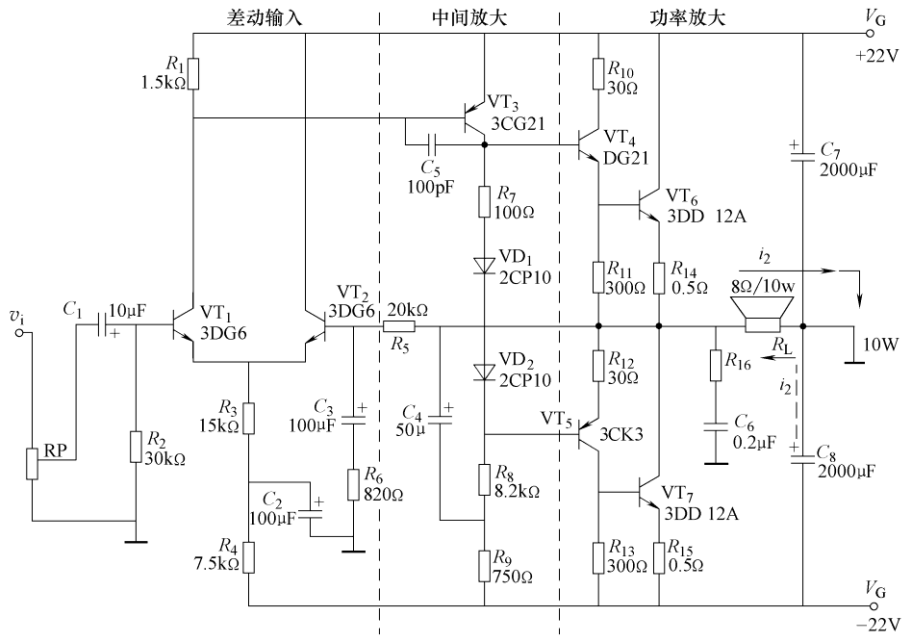
a) OCL电路基本模型



b) 消除交越失真的OCL电路

(2) OCL功放电路仿真

(3) 实用OCL功放电路



第3讲 互补对称功率放大器（2）

集成功率放大器

教学目标：

了解功放电路的结构、符号、特性、应用

教学：4 学时

教学重点

1. 桥式推挽功率放大器；
2. 集成功率放大器。

教学难点

1. 桥式推挽功率放大器；

教学手段：讲授

教学组织过程

教学适宜教师课堂讲授。

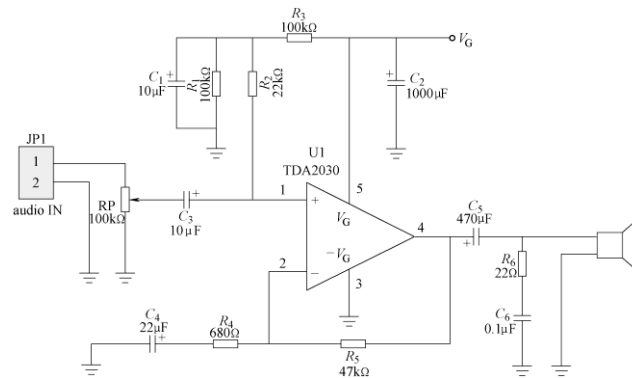
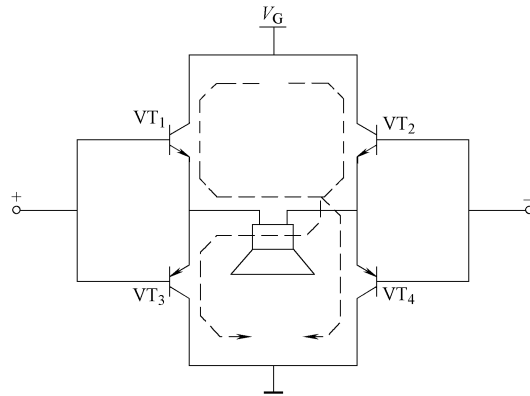
主要内容

1. 桥式推挽功率放大器（BTL）

如图所示为BTL功放的基本模型。4只功放管特性对称，静态时均处于截止状态，负载上没有电压。如图中所示输入信号极性。正弦波正半周时， VT_1 和 VT_4 导通、 VT_2 和 VT_3 截止，电源 V_G 通过 VT_1 、 VT_4 构成的通路向负载供电，电流如图中长虚线所示；正弦波负半周时， VT_2 和 VT_3 导通、 VT_1 和 VT_4 截止，电源 V_G 通过 VT_2 、 VT_3 构成的通路向负载供电，电流如图中短虚线所示。功放管 VT_1 和 VT_4 、 VT_2 和 VT_3 双双配对交替工作，在负载上获得正负半周完整的输出波形，因而负载上获得交流功率。

桥式推挽功率放大器

单声道集成功放

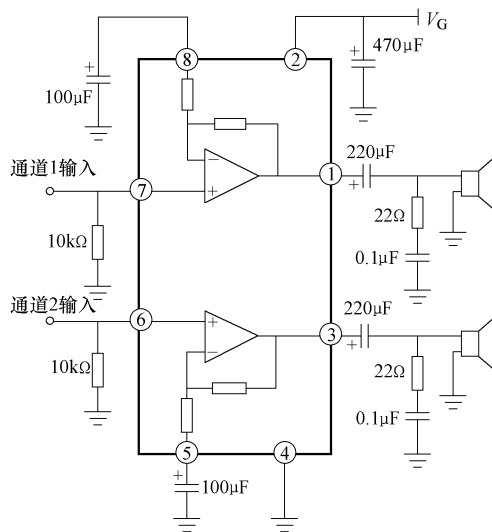


2. 功放管的散热和安全使用

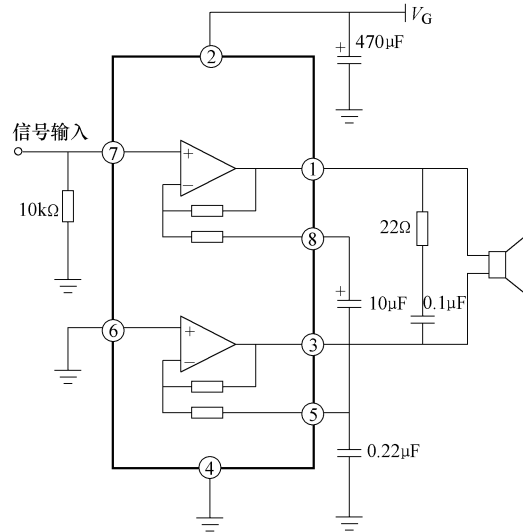
- (1) 功放管的散热
- (2) 功放管的保护

3. 双声道集成功放TDA2822

- (1) TDA2822组成OTL电路



a) OTL电路



b) BTL电路

- (2) TDA2822组成BTL电路

4. 单声道集成功放TDA2030

第 4 讲 实验八

教学目标：

了解功放电路的测试特性、应用

教学：4 学时

教学重点

本节课程通过对TDA2030功放电路的制作实验，熟悉TDA2030功放电路的基本结构，领会TDA2030功放电路的工作原理，体验TDA2030功放带负载情况下工作特性和发热情况。通过实际测量操作，从感性上认识和体验TDA2030功放电路的特性。

教学难点

1. 集成功放静态工作点设置方法；
2. 桥式整流、滤波电路的应用；
3. 示波器测量波形调节、读取。

教学手段：实验

教学组织过程

教学适宜教师实验室**一体化讲授**。探索理论知识和技能训练一体化的模式，把学生对理论知识的理解通过实践体验来印证和加深。

1. 讲述

本节课程是在《第 7 章》内容的基础上通过实验的方法巩固对理论知识的理解；通过理论计算和实际测量操作，体会集成运放的又一实际应用；集成运放同相输入端和输出端电压大小关系、相位关系。

2. 实验步骤

- (1) 把同学们带到实验室或项目室，安排大家坐下并保持安静；
- (2) 找课代表等几位同学到实验室仓库领元器件和电路板；
- (3) 分发焊锡丝、元器件等；
- (4) 按照<实验 8 报告>进程按排操作；
- (5) 现场指导同学们焊接、测试过程；
- (6) 指导同学们分析测量和计算的合理与否。

3. 故障分析

在实验过程中，及时发现同学们在遇到的故障，并进行现场分析问题。这些问题有的是个别性，有的具有普遍性，都需要老师现场处理；然后，再指导其他同学避免。

课后，对这些的故障现象进行归纳，补充备课内容，在<点评实验报告>课上逐一评价。

4. 收缴实验报告

5. 点评实验报告（一节课）