

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

《电子线路（第3版）》

教学指南

高卫斌 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

1. 课程的的性质和任务

本课程是中等职业学校信息技术类专业的一门技术基础课，是实践性较强的课程。其任务是使学生具备从事信息技术工作的高素质劳动者和中初级专门人才所需的电子线路的基本原理、基本知识和基本技能，并为培养学生的创新能力和全面素质打下良好基础。

2. 课程的重点、难点及解决办法

本课程理论教学分为两部分：模拟电路部分和数字电路部分，模拟部分又分为低频部分和高频部分，高频部分可根据不同专业的需要选学。学生在学习完成模拟电子技术部分之后，进行数字电子技术部分的学习。

模拟电路部分的重点是：半导体二极管、三极管和场效应管的外特性及主要参数；晶体管共射、共集、共基放大电路的组成原理、特点及分析方法；直接耦合多级放大电路存在问题及解决的方法；差动放大电路抑制零点飘移的原理及方法；放大电路反馈类型判断、反馈对放大电路的影响、反馈的正确引入；集成运放组成的比例、求和、比较器的工作原理，输入输出关系及应用；正弦波振荡器振荡的条件、LC及石英晶体振荡器；OCL功率放大器的工作原理及指标计算；稳压电路的组成及工作原理。

模拟电路部分的主要难点是：半导体三极管和场效应管的工作原理；放大电路的图解分析；差动放大电路的分析；反馈类型的判断，正弦波振荡电路的分析等。

数字电路部分的重点是：逻辑代数；基本门电路的逻辑功能；TTL逻辑门电路的外特性；组合逻辑电路的分析；JK、D触发器逻辑功能；时序逻辑电路的分析；中大规模集成电路的结构及应用；555定时器在波形产生中的应用。

数字电路部分的主要难点是：逻辑代数的化简，TTL逻辑门电路的工作原理及外部特性；触发器的工作原理及特性，时序逻辑电路的分析等。

解决办法：对于上述描述的课程的重点和难点，解决的最终目的是使学生能够有效地、高效地掌握该内容。通过教学内容的优化组合，突出实用性和先进性，突出“强调动手、加强实践、培养兴趣、积极创新”的理念，实施循序渐进，从单一电路到系统电路设计的教学模式，实施了“基础→综合→系统→创新”的教学体系，打破了以往只重视基础内容的教学模式。“基础→综合→系统→创新”的教学体系，就是强调基本概念、基础内容，但不局限；在教学过程中引导学生根据基本内容综合基本知识，升华基本规律，结合工程应用，达到举一反三，使大多数同学能够掌握教材基本内容和重点内容；教学内容各模块基本掌握的情况下，教师注重从系统整体分析的角度出发，从更高层次让学生进一步掌握基本内容和重点内容，使学习优秀的同学能够利用基本知识，从系统角度分析教学内容各模块，最终实现学习方法创新及基本教学内容在创新实践中的应用。

在教学过程中，强调尊重学生的主体作用和主动精神，注重开发学生的潜能，重点开展互动教学，同时注意分层次因材施教，活跃教学气氛，激发学生的求知欲和潜质，引导学生主动学习。根据上述基本思想，在实际的教学中，课程组主要通过三种渠道和方式来贯彻落实：

(1) 课堂教学过程中, 教师首先在重点、难点内容备课上下工夫, 充分理解该问题的内涵, 总结问题的规律性, 深入浅出解释问题, 突出概念, 讲清思路。在难点上, 用几种方法对比介绍, 找出突破口。同时, 根据已往学生容易出现的问题, 结合多媒体教学手段, 利用多媒体动画效果, 形象地向学生演示电路内部结构及输入输出信号的动态变化, 增强学生对该问题的感性认识。在理论教学平时成绩考核中, 主要包括学生平时作业情况和各章节小结、考试, 重点改革是每章要求学生必须小结, 提高学生基本功;

(2) 在布置课后作业时, 加大重点、难点尤其既是重点又是难点内容方面的习题, 同时在习题讲解时突出强调该内容在实际中的应用, 通过工程训练来使学生进一步认识和学习该问题;

(3) 在实验教学中, 尤其是在必做实验内容的安排上, 进一步设置与重点、难点相关的内容, 学生通过直观实验结果来完全理解该问题的内涵。

3. 教学提要

第 1 章 半导体器件

教学要求

本章是本书的开始篇。半导体器件是电子线路最基本的部分, 各种电子线路的工作原理及所具备的不同功能, 都与电子线路中所用的半导体器件的类型、性能、工作状态等的不同直接有关。因此, 熟悉并掌握半导体器件的基本知识, 就成为学习与应用电子线路的关键所在。本章教学要求:

(1) 了解半导体的基本知识, 本征半导体; 掺杂半导体; 掌握 PN 结的基本特性。

(2) 理解半导体二极管的伏安特性和主要参数; 了解几种常用的二极管: 硅稳压二极管、变容二极管、发光二极管、光电二极管等。

(3) 掌握半导体三极管中的电流分配关系; 理解半导体三极管的放大作用, 共发射极电路的输入、输出特性曲线, 主要参数及温度对参数的影响。

(4) 了解 MOS 管的工作原理、特性曲线和主要参数。

重点: PN 结的单向导电特性、二极管、三极管、场效应管伏安特性和主要参数, 三极管放大作用。

教学建议: 关于二极管正向偏置导通、反向偏置截止, 可增加一些练习, 本征半导体、P 型半导体、N 型半导体等可略讲、或不讲的。有条件的可演示或让学生用晶体管特性图示仪看输出特性曲线并测三极管主要参数

本章提要与分析

教学本章内容时, 应使读者了解和掌握下列基本概念:

*1. 半导体的基本知识

半导体是导电能力介于导体和绝缘体之间的物质。本征半导体是一种完全纯净、结构完整的半导体。半导体的导电能力取决于其内部载流子的多少，半导体有电子与空穴两种载流子。本征半导体有热敏特性、光敏特性和掺杂特性。本征半导体在热激发条件下仅有少数价电子获得足够能量形成电子空穴对，因此，载流子的数量少，导电能力差，且受温度的影响大。杂质半导体中多数浓度取决于所掺杂质的多少，按所掺杂质元素的不同分为 P 型半导体和 N 型半导体。

2. PN 结的单向导电特性。

当 PN 结两端加正向电压（即正向偏置）时，PN 结变窄，PN 结正向电阻很小，将形成较大的正向电流，此时 PN 结处于导通状态；反之，当 PN 结加反向电压时（即反向偏置），PN 结变宽，PN 结呈现反向电阻很大，因而反向电流很小，PN 结处于截止状态。由于 PN 结具有单向导电特性，因此广泛用在整流、检波等各种电路中。

3. 晶体二极管是由一个 PN 结两端加上电极引线做成管芯，并以管壳封装加固而成，因此，单向导电性是晶体二极管最重要的特性。晶体二极管常用伏安特性曲线表示其性能，它由正向特性和反向特性两部分组成。学习时应注意如下几点：

1) 在正向特性的起始部分，二极管呈现很大的电阻处于截止状态，这个范围称为死区，对应的电压，称为门坎电压 U_{th} 。当正向电压大于门坎电压后，正向电流随正向电压的上升而急剧上升，二极管正向电阻变得很小而处于导通状态。应当注意：二极管的死区电压，硅管约为 0.5 伏，锗管约为 0.1V；二极管的导通电压，硅管约为 0.7V，锗管约 0.3V，它不同于门坎电压 U_{th} 。

2) 在反向特性部分，当反向电压不超过某一范围时，反向电流很小且不随反向电压变化，只有反向电压增加到某一数值时，反向电流就会突然增大，这种现象称为反向击穿，对应的反向电压称为反向击穿电压。PN 结击穿时电流很大，电压很高，因而消耗在 PN 结上的功率很大，容易使 PN 结发热超过它的耗散功率，从而烧毁晶体二极管。

3) 伏安特性与温度的关系。当加反向电压时，由于少数载流子的浓度是由温度决定的，所以温度上升时，反向饱和电流就增大，且随温度上升增加很快，而反向击穿电压就要下降；在正向特性部分，温度升高时，在同样的电流下，所需施加的正向电压可以减小。

4) 为了分析与计算的方便，常常假设二极管是理想的，即把晶体二极管的特性理想化，认为二极管的正向电阻为零，而反向电阻为无穷大，且忽略正向压降和反向电流，读者学习时应注意这一点。

5) 晶体二极管的主要参数有最大整流电流 I_{FM} 、最高反向工作电压 U_{RM} 和最大反向电流 I_{RM} 。其中最大整流电流和最高反向工作电压两个参数是合理选择和使用二极管的主要依据。应当注意最高反向工作电压和反向击穿电压的区别，最高反向工作电压是确保二极管安全工作所允许使用的电压值，约为反向击穿电压的一半。

4. 稳压二极管是一种特殊的二极管，利用它在反向击穿状态下的恒压特性，常用它来构成简单的稳压电路。它的正向特性与普通二极管相似。

5. 半导体三极管又称晶体三极管。它有发射区、基区和集电区等三个区，各自引出的三个电极分别称为发射极，基极和集电极，分别用小写字母 e、b、c 表示。发射区和基区之间的 PN 结称为发射结，集电区和基区之间 PN 结称为集电结。晶体管按半导体材料可分为硅管和锗管，按 PN 结组合方式不同可分为 PNP 型和 NPN 型。

6. 晶体管工作在放大状态时，通常在它的发射结加正向电压，集电结加反向电压，正常工作时发射结正向压降变化不大，硅管约为 0.7V，锗管约为 0.3V。

7. 晶体三极管的电流放大作用和电流分配关系是本章的重点内容，读者学习时应掌握下列基本概念：

(1) 晶体三极管具有电流放大作用。它是通过较小的基极电流 i_B 的变化去控制较大的集电极电流 i_C 的变化，这就是晶体三极管的电流放大作用，即基极的控制作用。因此，晶体三极管是一种电流控制型器件。

(2) 晶体三极管实现电流放大的条件

外部条件（偏置条件）是发射结正向偏置，集电结反向偏置。即 NPN 型管要求 $U_C > U_B > U_E$ ；PNP 型管要求 $U_E > U_B > U_C$ 。

内部条件（工艺条件）是发射区掺杂浓度高，基区很薄且杂质浓度低，集电结面积大。

(3) 三极管的电流分配关系

$$i_E = i_B + i_C \qquad i_C = \beta i_B$$

8. 晶体三极管的输入、输出特性曲线是用来说明管子特性的重要曲线，读者学习时应掌握下列基本概念：

(1) 输入特性曲线是指在 u_{CE} 一定时， $i_B = f(u_{BE})$ 的关系曲线，它类似于二极管的正向特性，也存在门坎电压 U_{th} 及发射结正向压降，晶体管的输入特性是非线性的。

(2) 输出特性曲线是指 i_B 一定时， $i_C = f(u_{CE})$ 的关系曲线。我们通常把输出特性曲线分成截止、饱和、放大三个工作区来分析晶体三极管的工作状态。当发射结和集电结均处于反向偏置时，晶体三极管处于截止状态；当发射结和集电结均为正向偏置时，晶体三极管工作于饱和状态；当发射结正向偏置、集电结反向偏置时，

晶体三极管工作在放大状态。

(3) 在放大区内 $i_C = \beta i_B$ ，存在电流放大作用。集电极电流 i_C 仅受 i_B 的控制，几乎与 u_{CE} 无关，这时可以把三极管视为一个受基极电流 i_B 控制的受控电流源。

9. 晶体三极管的参数是选用三极管的重要依据。 β 和 $\bar{\beta}$ 是共发射极交流和直流放大系数，一般 $\bar{\beta} \approx \beta$ 。 β 是用来表示电流放大能力大小的参数，选用三极管时，其 β 值应恰当，一般 β 太大的管子工作稳定性较差； I_{CBO} 、 I_{CEO} 的大小反映三极管的温度稳定性的参数，温度上升时， I_{CBO} 、 I_{CEO} 将增大，在实际应用时，希望 I_{CBO} 越小越好， I_{CEO} 与 I_{CBO} 有如下关系： $I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO}$ ； P_{CM} 、 I_{CM} 、 $U_{(BR)CEO}$ 规定了三极管的安全运用范围，一般情况下， I_C 超过 I_{CM} 一些晶体管不会损坏，只是 β 值会显著下降，影响放大质量，但晶体管工作时，是不允许同时达到 I_{CM} 和 $U_{(BR)CEO}$ ，否则集电极功耗将大大超过 P_{CM} 值，从而使晶体管损坏。

10. 场效应管又称单极型晶体管，是一种电压控制型器件，具有高输入阻抗和低噪声等特点。场效应管的特性曲线有转移特性曲线和输出特性曲线。跨导表示场效应管放大能力的主要参数。按其结构的不同可分为结型场效应管和绝缘栅场效应管两类，每类都有 P 沟道和 N 沟道的区分。绝缘栅场效应管按其工作状态又可以分为增强型和耗尽型两种

第 2 章 放大电路的基本知识

一、教学要求

本章是模拟电子电路的基础篇，也是重点篇。模拟电子电路主要研究如何不失真地放大信号，而单级放大电路是构成复杂电路（如多级放大电路、反馈放大电路及集成运放）的基础，本章有关单级放大电路的组成、技术指标、分析方法等内容，都将贯穿到后续章节去。

本章的教学要求是

(1) 理解共发射极电路的组成、工作原理；*了解共发射极电路的图解分析法。

(2) 了解温度对静态工作点的影响；掌握分压式偏置电路的工作原理和静态工作点的估算。

* (3) 了解应用简化等效电路(r_{be} , β) 计算电压放大倍数、输入电阻和输出电阻的方法。

(4) 了解共集电极电路和共基极电路的性能特点；三种组态电路的性能比较。

(5) 理解放大器的幅频特性、相频特性和通频带的概念。

重点：放大电路的性能指标，静态工作点的分析计算，静态工作点的稳定。

难点：共射极放大电路的图解分析，分压式偏置电路静态工作点的稳定过程。

二、内容提要与分析

本章是学习后面各章的基础，其主要内容如下：

1. 放大的概念

在电子电路中，放大的对象是变化量，常用的测试信号是正弦波。放大的本质是在输入信号的作用下，通过有源器件（晶体管、场效应管或运算放大器等）对直流电源的能量进行控制和转换，使负载从电源中获得的输出信号能量，比信号源向放大电路提供的能量大得多，因此放大的特征是功率放大，表现为输出电压大于输入电压，或输出电流大于输入电流，或二者兼而有之。放大的前提是不失真，换言之，如果电路输出波形产生失真便谈不上放大。

2. 放大电路的性能指标

(1) 放大倍数或增益。它表示放大器输出信号的变化量与输入信号的变化量之比，常用的三种：电压放大倍数 $A_u = \frac{u_o}{u_i}$ ，电流放大倍数 $A_i = \frac{i_o}{i_i}$ ，功率放大倍数 $A_p = \frac{P_o}{P_i}$ ，用以衡量放大电路的放大能力。

(2) 输入电阻 R_i ：从输入端看进去的交流等效电阻，反映放大电路从信号索取电流的大小。

(3) 输出电阻 R_o ：从输出端看进去的等效输出信号源的内阻，说明放大电路的带负载能力。

(4) 下限、上限截止频率 f_L 和 f_H 及通频带 f_{bw} ：均为频率参数，反映放大电路对信号频率的适应能力。

3. 放大电路的组成原则

(1) 必须有放大电路的核心元件，即晶体管或场效应管。

(2) 合适的直流电源包括与其它电路元件以保证晶体管工作在放大区、场效应管工作在恒流区，即建立起合适的静态工作点，并保证在放大信号时不失真。

(3) 输入信号应能够有效地作用于有源器件的输入回路；输出信号能够由负载获得。

4. 放大电路的静态分析

学习放大器静态工作点内容时，读者应了解和掌握下列基本概念：

(1) 放大器未加交流输入信号 u_i （即 $u_i=0$ ）时的工作状态，称为静态。

(2) 静态时，放大电路中电流和电压均为直流，静态工作点可由放大电路的直流通路来分析和确定。画直流通路的原则是：放大电路中的电容视为开路，而电感视为短路，电压信号源视为短路。静态工作点是指静态时的 I_B 、 I_C 、 U_{CE} ，用 I_{BQ} 、 I_{CQ} 、

U_{CEQ} 。

(3) 静态工作点对放大器的放大倍数、信号失真均有影响。选择合适的静态工作点，使放大电路工作在管子特性曲线的线性部分，使它能基本不失真地放大交流信号。若静态工作点 Q 选得过高，易引起饱和失真；反之， Q 点选得过低，易引起截止失真。

(4) 温度变化是静态工作点不稳定的主要原因、温度变化对晶体管的参数有如下影响

$$\left. \begin{array}{l} U_{BE} \downarrow \\ \beta \uparrow \\ I_{CBO} \uparrow \end{array} \right\} \text{温度} \uparrow \rightarrow I_{CQ} \uparrow$$

显然，温度变化最终导致集电极电流 I_{CQ} 的变化，要使静态工作点稳定，必须稳定 I_{CQ} 。常用的稳定静态工作点的方法采用分压式偏置电路。

(5) 放大电路的静态工作点可采用图解法与估算法进行。

5. 放大电路的动态分析

在学习放大电路放大交流信号时，读者应了解和掌握下列基本概念：

(1) 放大电路加有交流输入信号 $u_i (u_i \neq 0)$ 时的工作状态，称为动态。

(2) 放大电路工作在动态时，电路中的各种电流、电压信号，既有直流分量，又有交流分量，直流分量和交流分量是叠加在一起的。为了分析方便起见，我们通常将放大电路中直流分量与交流分量分开分析，直流分量由放大电路的直流通路决定，交流分量则由放大电路的交流通路进行分析。

(3) 交流通路是指在交流输入信号的作用下，交流流通的途径，用于放大电路的动态分析。画交流通路的原则是：容量大的电容（如耦合电容和旁路电容）视为短路，无内阻的直流电压源视为短路。

(4) 放大电路的动态分析常用的方法有图解法和微变等效电路法。图解法一般适于分析输出幅度较大而工作频率不太高的情况，多用于分析最大不失真输出电压和失真情况，而微变等效电路法只适用于低频小信号交流分量作用于放大电路时其动态技术指标的计算，且前提是假定放大电路已经有合适的静态工作点。

6. 晶体管基本放大电路有共射、共集、共基三种接法。在三种放大电路中，共射极放大电路既有电流放大作用又有电压放大作用，输入电阻居中，输出电阻较大，适用于一般放大；共集电极放大电路只放大电流而不放大电压，因输入电阻高而常

做为多级放大电路的输入级，因输出电阻低（带负载能力强）而常作为多级放大电路的输出级，因电压放大倍数接近于 1 而用于信号的跟随；共基极放大电路只放大电压而不放大电流，输入电阻小，高频特性好，适用组成宽带放大电路。

第 3 章 直接耦合放大电路和集成运算放大器

本章的教学要求

本章是基本放大器知识的延伸。直接耦合放大电路是集成运算放大器的基础，而运算放大器又是组成电子电路的基本单元，其应用相当广泛。

(1) 了解差分放大器的电路特点，工作原理，了解差模信号与共模信号、失调与调零的概念。

(2) 了解集成电路的类型、特点及发展概况。

(3) 了解集成运算放大器内部组成及主要参数。

重点：差动放大电路的组成和工作原理，集成运放的特点。

难点：差动电路的计算及运放的工作原理。

内容提要与分析

1. 用来放大缓慢变化的信号或直流变化量的放大器称为直流放大器。直流放大器既可以放大直流信号，也可以放大交流信号。

2. 直流放大器级间采用直接耦合方式，因此存在前后级静态工作点相互影响和零点漂移两个主要问题。

3. 解决前后级静态工作点相互影响的问题的主要措施是：提高后一级晶体管发射极电位（对 PNP 管应降低）。

4. 零点漂移

(1) 什么是零点漂移

直流放大器输入信号为零时（输入端对地短路），输出电压偏离其起始值的现象称为零点漂移，简称零漂。

(2) 产生零点漂移的原因是什么？

造成零点漂移的原因是：晶体管参数 I_{CEO} 、 U_{BE} 、 β 随温度变化而变化，电源电压的波动，电路元件的老化等引起晶体管工作点的变化。其中温度的变化是产生零点漂移的主要原因。

(3) 抑制零点漂移的措施

可以采用热敏电阻进行温度补偿来抑制零漂。但由于热敏电阻的温度特性不可能与晶体管的温度特性完全一致，所以很难得到满意的效果。抑制零点漂移的有效

电路是采用差动放大器。

5. 差动放大电路

(1) 基本概念:

①差模输入

在差动放大电路两输入端分别加入大小相等而极性相反的信号, 即 $u_{i1} = -u_{i2}$, 这种输入模式称为差模输入。而输入端之间的信号之差称为差模信号, 用 u_{id} 表示, 即 $u_{id} = u_{i1} - u_{i2} = 2u_{i1}$, 则 $u_{i1} = \frac{1}{2}u_{id}$, $u_{i2} = -\frac{1}{2}u_{id}$ 。

②共模输入

差动放大电路的两输入端输入大小相等、极性也相同的信号, 即 $u_{i1} = u_{i2}$, 这种输入模式称为共模输入, 它们对地的信号称为共模信号, 用 u_{ic} 表示, $u_{ic} = u_{i1} = u_{i2}$ 。

③差模放大倍数 A_{ud} 、共模放大倍数 A_{uc} 和共模抑制比 K_{CMR}

输入差模信号时的放大倍数称为差模放大倍数, 记作 A_{ud} , 定义为

$$A_{ud} = \frac{u_{od}}{u_{id}}$$

式中 u_{od} 是 u_{id} 作用下的输出电压。

在共模信号作用下放大电路的放大倍数称为共模放大倍数, 记作 A_{uc} , 定义为

$$A_{uc} = \frac{u_{oc}}{u_{ic}}$$

式中 u_{ic} 是共模输入信号, u_{oc} 是 u_{ic} 作用下的输出电压。它们可以是缓慢变化的信号, 也可以是正弦交流信号。

为了综合考察差动放大电路对差模信号的放大能力和对共模信号的抑制能力, 通常用共模抑制比作为差动放大电路的性能指标, 记作 K_{CMR} , 定义为

$$K_{CMR} = \left| \frac{A_{ud}}{A_{uc}} \right|$$

其值愈大, 说明性能愈好。

(2) 差动放大电路

①基本的差动放大电路

基本差动放大电路仅靠电路的对称性, 在双端输出的差放电路两管集电极输出端抑制零漂, 但对每个管子的集电极电位的零漂并未受到抑制, 如果采用单端输出, 零漂问题就无法解决。即使是双端输出, 由于实际电路不可能完全对称, 当输入共模信号时, 两个输出端对地的电压就有较大差异, 虽然双端输出能抵消部分共模部分, 但仍有较大共模输出。

②带公共发射极电阻 R_e 的差动放大电路

为了进一步提高放大器抑制零漂的能力，通常采用带有公共发射极电阻 R_e 的差动放大电路。 R_e 对共模信号（零漂）起负反馈作用，但对差模信号不起作用，不影响电路的电压放大倍数，因此，差模信号输入时，可视作短路。辅助电源 V_{EE} 的作用是：用来抵偿 R_e 两端的直流电压降，从而使放大器获得合适的静态工作点。电位器 RP 的作用是：用以调整电路的对称性，使输入为零时输出也为零。应当注意： RP 对差模信号也有负反馈作用，因此，当输入差模信号时， RP 的作用不能忽略。

③具有恒流源的差动放大电路

为了提高共模抑制比，双端输出和单端输出的差动放大电路均要尽可能地增大共模反馈电阻 R_e 的值。但是过大的 R_e ，将使负电源 V_{EE} 的电压值大大提高，否则就得不到合适的静态工作点。为了解决这一矛盾，我们通常利用晶体管的恒流特性，用晶体管作恒流源代替电阻 R_e ，即构成了恒流源差动放大电路。恒流源差动放大电路具有很强的共模负反馈作用，使电路具有更强的抑制共模信号的能力。

④差动放大电路的连接方式

差动放大电路共有两个输入端和两个输出端，按照信号输入、输出方式不同，可以组成双端输入——双端输出、单端输入——双端输出、双端输入——单端输出、单端输入——单端输出。

差动放大电路的差模电压放大倍数只与输出方式有关，而与输入方式无关，即输入方式无论是单端输入还是双端输入，只要是双端输出，差动放大电路的差模电压放大倍数就等于单管放大电路的电压放大倍数；凡是单端输出，差动放大电路的差模电压放大倍数只等于单管放大电路电压放大倍数的一半。

6. 集成运算放大电路实际上是一种高电压增益、高输入电阻和低输出电阻的多组直接耦合放大电路。通常由输入级、中间级、输出级和偏置电路等四部分组成。

第 4 章 放大电路中的负反馈

一、本章教学要求

本章主要讲述了反馈的基本概念、负反馈放大电路的分类及方框图、负反馈对放大电路性能的影响等问题，阐明了反馈的判断方法、深度负反馈条件下放大倍数的估算方法、负反馈放大电路自激振荡的消除方法等。

(1) 掌握反馈的概念和负反馈放大器的分类。

(2) 了解具有反馈时放大电路放大倍数的一般表达式及反馈深度的概念。

(3) 了解负反馈对放大电路性能的影响。

重点：负反馈的基本概念，反馈类型的判断。

难点：反馈概念的建立，反馈的类型判断。

内容提要与分析

1. 反馈的基本概念 在电子电路中，将输出量（输出电压或输出电流）的一部分或全部通过一定的电路形式作用到输入回路，用来影响其输入量（输入电压或输入电流）的措施称为反馈。

2. 反馈的分类 若反馈的结果使输出量的变化（或净输入量）减小，则称之为负反馈；反之，则称为正反馈。若反馈只存在于直流通路，则称为直流反馈；若反馈只存在于交流通路，则称为交流反馈；若反馈既存在于直流通路又存在于交流通路，则称为交、直流反馈。若反馈量与输出电压成正比则称为电压反馈；若反馈量与输出电流成正比则称为电流反馈。若输入量、反馈量和净输入量以电压形式相叠加，则称之为串联反馈；若输入量、反馈量和净输入量以电流形式相叠加，则称之为并联反馈。

3. 反馈组态的判别

(1) 有无反馈的判别

看输入、输出回路之间是否存在反馈通路，即有无起联系作用的反馈元件，有，则存在反馈，否则没有反馈。

(2) 交、直流反馈的判别

电路中存在反馈，如果反馈信号仅有直流成分，则为直流反馈。如果反馈信号仅有交流成分，则为交流以反馈。当反馈信号中交直流成分兼而有之，则为交、直流反馈。

(3) 电压反馈和电流反馈的判别

电压反馈，反馈信号取自输出电压，反馈量 X_f 与输出电压 U_o 成正比，即 $X_f \propto U_o$ ；电流反馈，反馈信号 X_f 取自输出电流 I_o ，即 $X_f \propto I_o$ 。也可用输出端短路的办法判断：令输出电压 $U_o=0$ ，若反馈仍存在，则为电流反馈；若反馈不存在，则为电压反馈。

(4) 串联反馈和并联反馈的判别

令反馈节点对地短路，若输入信号存在则为串联反馈；若输入信号不存在则为并联反馈。

从电路结构来看，输入信号与反馈信号加在放大电路的不同输入端为串联反馈；输入信号与反馈信号并接在同一输入端上为并联反馈。

(5) 正负反馈的判别

用瞬时极性法（设输入极性、看反馈效果）。先设输入信号的极性“+”或“-”，再标出电路中各有关点对地的交流瞬时极性，然后观察放大电路的净输入信号是增强还是削弱，增强的为正反馈，削弱的为负反馈。

4. 负反馈对放大电路性能的影响

(1) 直流负反馈能稳定放大电路的静态工作点。

(2) 交流负反馈能改善放大电路的动态性能，如能稳定放大倍数，展宽频带，减小非线性失真，能抑制放大电路内部的干扰和噪声等。

(3) 电压负反馈能稳定输出电压，能使输出电阻减小，提高了带负载能力；电流负反馈能稳定输出电流，使输出电阻增大。

(4) 串联负反馈能使输入电阻增大，减小向信号源索取的电流；并联负反馈使输入电阻减小。

5. 负反馈放大电路放大倍数的一般表达式为 $A_f = \frac{A}{1+AF}$ ，若 $|1+AF| \gg 1$ ，即在深度负反馈条件下， $A_f \approx \frac{1}{F}$ 。由此可见，负反馈以降低放大倍数为代价，换取放大性能的改善，反馈愈深，即 $(1+AF)$ 的值愈大时，这种调整作用愈强，对放大电路性能的改善愈为有益。但必须注意到，反馈深度 $(1+AF)$ 的值也不能无限制地增加。否则在多级放大电路中容易产生自激现象，当产生自激振荡时，必须在放大电路合适的位置加小容量电容或电阻和电容串联电路消振。

第 5 章 集成运算放大器的应用

本章教学要求

集成运放在电子电路中有着广泛的应用。

- (1) 掌握集成运算放大器的理想化特性。
- (2) 掌握集成运算放大器（同相、反相）的接法。
- (3) 掌握比例运算、求和运算、减法运算的电路构成和工作原理。
- (4) 了解比较器。
- (5) 掌握集成运算放大器的应用常识。

重点：集成运放的基本电路的分析计算。

难点：集成运放的理想特性。

内容提要与分析

1. 利用集成运放作为放大电路，引入各种不同的反馈，就可以构成各种不同功能的实用电路。在分析各种实际电路时，通常将集成运放的性能指标理想化。集成运放理想化参数是：

- (1) 开环差模放大倍数 $A_{od} \rightarrow \infty$;
- (2) 差模输入电阻 $r_{id} \rightarrow \infty$;
- (3) 输出电阻 $r_o \rightarrow 0$;
- (4) 共模抑制比 $K_{CMR} \rightarrow \infty$;
- (5) 上限截止频率 $f_H \rightarrow \infty$ 。

2. 尽管集成运放的应用电路多种多样，但就其工作区域却只有两个：线性区或非线性区。

只有电路引入负反馈，才能保证集成运放工作在线性区。集成运放工作在线性区时，净输入电压 $u_P - u_N = 0$ ，即 $u_P = u_N$ ，称两个输入端“虚短”。净输入电流也为零，即 $i_P = i_N = 0$ 。“虚短”和“虚断”是分析运算电路的两个基本出发点。

若集成运放工作在开环或引入正反馈，则工作在非线性区。集成运放工作在非线性区时，输出电压只有两种可能情况，当 $u_P > u_N$ 时， $u_o = +U_{OM}$ ，当 $u_P < u_N$ 时， $u_o = -U_{OM}$ ；同时其净输入电流也为零。

3. 集成运放引入负反馈后，可以实现模拟信号的比例、加减、积分、微分等各种运算。

(1) 反相比例运算电路属于电压并联负反馈电路，集成运放反相输入端为“虚地”，即 $u_N = 0$ ；由于是深度负反馈，输出电阻 R_o 小，可视为零，带负载能力强；由于并联负反馈作用，输入电阻小，其输出电压与输入电压的关系为
$$u_o = -\frac{R_f}{R_1} u_i$$

(2) 同相比例运算电路属于电压串联负反馈电路。由于是深度串联负反馈，输入电阻很高；由于是深度电压负反馈，所以输出电阻 R_o 小，可视为零，带负载能力强；其输出电压与输入电压的关系为
$$u_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) u_i$$
。

(3) 实现多个输入信号按各自不同比例求和或求差的电路统称为加减运算电路。若所有输入信号均作用于集成运放的同一输入端，则实现加法运算；若一部分输入信号作用于集成运放的同相输入端，而另一部分信号作用于反相输入端，则实现减法运算。反相求和运算的多个输入信号均作用于集成运放的反相输入端，其输

出电压的表达式为 $u_0 = -(\frac{R_f}{R_1}u_{i1} + \frac{R_f}{R_2}u_{i2} + \dots)$ ；而两个输入信号的减法电路在

$R_1//R_f=R_2//R_3$ 时，其输出电压的表达式为 $u_0 = \frac{R_f}{R_1}(u_{i2} - u_{i1})$ 。

4. 电压比较器中集成运放工作在非线性区域，即输出不是高电平，就是低电平。它既用于信号转换，又作为非正弦波发生电路的重要组成部分。

通常用电压传输特性来描述电压比较器的输出电压与输入电压的关系。电压传输特性具有三个要素：一是输出高、低电平，它决定于集成运放输出电压的最大输出幅度或输出端的限幅电路；二是阈值电压，它是使集成运放同相输入端和反相输入端电位相等的输入电压；三是输入电压过阈值电压时输出电压的跃变方向，它决定于输入电压是作用于集成运放的反相输入端，还是同相输入端。本章介绍了简单的单限比较器和滞回比较器。

5. 使用集成运放时应注意调零、频率补偿和必要的保护措施。

第 6 章 低频功率放大器

本章教学要求

功率放大器与电压放大器是紧密联系着的内容。

(1) 了解功率放大电路的任务、特点和要求。

(2) 掌握无输出变压器功率放大电路（OCL、OTL 电路）的组成和工作原理；*理解 OCL、OTL 电路的性能分析， P_{OM} 、 P_{VM} 、 P_{CM} 的估算方法和功放管的选用条件。

(3) 理解典型集成功率放大电路。

(4) 了解功率管的安全使用知识。

重点：功率放大器的分类和特点，乙类和甲乙类互补功率放大器的工作原理。

难点：常见放大电路的分析计算。

内容提要与分析

1. 功率放大器与电压放大器的区别：电压放大器是以放大微弱信号电压为主要目的，要求在不失真的条件下获得较高的输出电压，是小信号放大器，讨论的主要指标是电压增益、输入和输出电阻等。功率放大器则不同，它主要要求获得一定的不失真（或失真较小）的输出功率，通常是在大信号状态下工作，它讨论的主要指标是最大输出功率、效率和非线性失真情况。

2. 功率放大器按功放管静态工作点 Q 在交流负载线上的位置不同, 可分为甲类、乙类和甲乙类等三种工作状态。

甲类功率放大电路的静态工作点 Q 在交流负载线中点, 其特点是在输入信号的整个周期内都有不失真的电流输出, 但静态电流大、管子功率损耗大、效率低。

乙类功率放大电路的静态工作点在横轴上 (在 $I_C=0$ 的位置上)。其特点是在输入信号的整个周期内, 放大管只在半个周期内导通, 另半个周期截止, 无静态电流, 因此, 没有输入信号时, 电源不消耗功率, 效率高, 但波形失真大。

甲乙类功率放大电路的静态工作点处于甲类和乙类之间, 靠近截止区。在输入信号的一个周期内, 晶体管导通时间大于半个周期, 静态电流 I_C 小, 效率较高, 但电流波形失真较大。

3. 功率放大器按输出端特点又有输出变压器功放电路、无输出变压器功放电路 (又称 OTL 电路)、无输出电容器功放电路 (又称 OCL 电路) 和桥接无输出变压器功放电路 (又称 BTL 电路) 几种类型。

4. 功放的输入信号幅值较大, 分析时应用图解法。首先求出功率放大电路负载上可能获得的最大交流电压幅值, 从而得出负载上可能获得的最大交流功率, 即电路的最大输出功率 P_{om} ; 同时求出此时电源提供的直流平均功率 P_V , P_{om} 与 P_V 之比即为转换效率 η 。

5. 为了提高低频功放电路的效率, 就应当使它们工作在乙类; 为了克服单管乙类功放的严重非线性失真, 可采用乙类互补对称功放。由于乙类互补对称功放存在交越失真, 故应采用接近乙类的甲乙类互补对称功放。

6. OCL 电路为直接耦合功率放大电路, 为了消除交越失真, 静态时应使功放管处于微导通状态; 因而 OCL 电路中功放管常工作在甲乙类状态。在忽略静态电流的情况下, 最大输出功率和转换效率分别为

$$P_{om} = \frac{(V_{CC} - U_{CES})^2}{2R_L} \approx \frac{V_{CC}^2}{2R_L}, \quad \eta = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{V_{CC} - U_{CES}}{V_{CC}} \approx 78.5\%$$

所选用的功放管的极限参数应满足 $U_{(BR)CEO} > 2V_{CC}$, $I_{CM} > V_{CC}/R_L$, $P_{CM} > 0.2P_{om}$ 。

7. 单电源互补对称电路 (OTL 电路), 其工作原理基本上与 OCL 电路相同, 指标计算时只要用 $V_{CC}/2$ 就行了。

8. 在功率放大电路中, 功放管既要流过大电流, 又要承受高电压。为了使功率放大电路的安全运行, 常加保护措施, 以防止功放管过电压、过电流和过功耗。

9. OTL、OCL 和 BTL 均有不同性能指标的集成电路, 只需外接少量元件, 就可成为实用电路。在集成功放内部均有保护电路, 以防止功放管过流、过压、过损

耗或二次击穿。

第7章 直流稳压电源

本章教学要求

在电子系统中，经常需要将交流电网电压转换为稳定的直流电压，为此要通过整流、滤波和稳压等环节来实现。

1. 掌握单相半波、桥式整流电路的组成、工作原理与性能特点；了解电容滤波电路的工作原理。
2. 了解硅稳压管稳压电路的稳压原理，稳压管和限流电阻的选择方法。
3. 理解三端式集成串联稳压电路的组成，工作原理及应用常识。
4. 了解开关稳压电路。

重点：带放大环节的串连型稳压电路的组成及其稳压工作原理。

难点：带放大环节的串连型稳压电路的稳压工作原理的分析。

内容提要与分析

1. 直流稳压电源由整流电路、滤波电路和稳压电路组成。整流电路将交流电压变成脉动的直流电压，滤波电路可减小脉动使直流电压平滑，稳压电路的作用是在电网电压波动或负载电流变化时保持输出电压基本不变。

2. 整流电路有半波和全波两种，最常用的是单相桥式整流电路。分析整流电路时，应分别判断在变压器副边电压正、负半周两种情况下二极管的工作状态（导通或截止），从而得到负载两端电压、二极管端电压及其电流波形，并由此得到输出电压和电流的平均值，以及二极管的最大整流平均电流和所承受的最高反向电压。

3. 单相半波整流电路的优点是电路简单，使用二极管数量少。但是由于它只利用了交流电压的半个周期，所以输出电压低，交流分量（即脉动）大，效率低。因此，这种电路仅适用于整流电流较小，对脉动要求不高的场合。单相半波整流电路的主要性能指标：

(1) 整流输出电压平均值为 $U_L \approx 0.45U_2$ ；

(2) 二极管的正向平均电流 $I_D = \frac{U_L}{R_L} = \frac{0.45U_2}{R_L}$ ；

(3) 二极管承受的最大反向峰值电压 $U_{RM} = \sqrt{2}U_2$ ；

(4) 整流二极管的选择应满足： $I_{FM} > I_D$ ， $U_R > U_{RM}$ ，即：

$$I_{FM} > \frac{0.45U_2}{R_L}, \quad U_R > \sqrt{2}U_2。$$

4. 单相桥式整流电路与半波整流电路相比, 具有输出电压高、变压器利用率高, 脉动小等优点, 因此得到广泛应用。

单相桥式整流电路的主要性能指标:

(1) 整流输出电压平均值为 $U_L \approx 0.9U_2$;

(2) 二极管的正向平均电流 $I_D = \frac{1}{2}I_L = \frac{0.45U_2}{R_L}$;

(3) 二极管承受的最大反向峰值电压 $U_{RM} = \sqrt{2}U_2$;

(4) 二极管的选择: $I_{FM} > \frac{0.45U_2}{R_2}, \quad U_R > \sqrt{2}U_2。$

5. 滤波电路通常有电容滤波、电感滤波和复式滤波, 本章重点介绍电容滤波。在满足 $R_L C = (3 \sim 5)T$ 时, 电容滤波电路的输出直流电压可按下述方法进行估算: 半波整流加电容滤波时, 输出直流电压约为 U_2 ; 而桥式整流加电容滤波时, 输出直流电压约为 $1.2U_2$; 负载开路时, 输出直流电压则均为 $\sqrt{2}U_2$ 。滤波电容的选用: 耐压应大于 $\sqrt{2}U_2$, 容量 $C \geq (3 \sim 5)T/R_L$, T 为脉动电压的周期; 半波整流电路采用电容滤波时, 二极管承受的反向电压将升高为 $2\sqrt{2}U_2$, 选用二极管时应特别注意。

6. 稳压管稳压电路结构简单, 但输出电压不可调, 仅适用于负载电流较小且其变化范围较小的情况。电路依靠稳压管的电流调节作用和限流电阻的补偿作用, 使得输出电压稳定。限流电路是必不可少的组成部分, 必须合理选择其阻值, 才能保证稳压管既能工作在稳压状态, 又不至于因功耗过大而损坏。

7. 在串联型线性稳压电源中, 调整管、基准电压电路、输出电压取样电路和比较放大电路是基本组成部分。其工作过程是: 取样(采样)电路将输出电压的变化量取出一部分, 加到比较放大电路的输入端, 与基准电压比较后放大, 然后控制调整管工作, 使输出电压基本不变, 从而稳定输出电压。基准电压的稳定性和比较放大电路的放大能力是影响输出电压稳定性的重要因素。

8. 三端集成稳压器目前已广泛应用于稳压电路中, 它具有体积小, 安装方便, 工作可靠等优点。它有固定输出和可调输出、正电压输出和负电压输出之分。CW78XX 系列为固定正电压输出, CW79XX 系列为固定负电压输出, CWX17 为可调式正电压输出, CWX37 为可调式负电压输出。使用时应注意稳压器的管脚排列差

异。

9. 开关型稳压电路中调整管工作在开关状态,因而功耗小,电路效率高,但一般输出的纹波电压较大,适用于输出电压调节范围小,负载对输出纹波要求不高的场合,广泛应用于彩色电视机、计算机等设备中。开关稳压电源是利用控制调整管的导通和截止时间的比例来稳定输出电压的。

第 8 章 正弦波振荡电路

一、本章教学要求

(1) 理解正弦波振荡电路的工作原理。

(2) 理解电容三点式 LC 振荡电路,*理解电感三点式 LC 振荡电路,*了解集成正弦波振荡器。

(3) 理解振荡电路的频率稳定度概念。

(4) 理解石英晶体振荡电路。

重点: 电路自激振荡的条件,各种 LC 振荡电路的特点。

难点: 电路自激振荡建立的过程,分析电路是否产生自激振荡。

内容提要与分析

1. 振荡电路是一种能量转换装置,它无需外加信号,就能自动地将直流电能转换成具有一定频率,一定幅度和一定波形的交流信号。振荡器有非常广泛的应用,尤其是正弦波振荡器,其输出波形是正弦波,可用作各种信号发生器本机振荡、载波振荡器等。振荡器与放大器不同之处在于放大器需要加输入信号,才能有输出信号,振荡器则不需外加信号,由电路本身自激产生输出信号。从电路组成上看,正弦波振荡器一定要有正反馈,而放大器为了稳定静态工作点和改善放大器的性能,常引入负反馈。

2. 正弦波振荡电路一般由放大电路、选频网络、正反馈网络和稳幅环节四部分组成。放大电路保证满足产生自激振荡的幅值条件,正反馈电路用以保证满足产生自激振荡的相位条件,而选频电路用以实现单一频率的正弦波振荡器。按选频网络所用元件不同,正弦波振荡电路可分为 RC、LC 和石英晶体等几种类型。

3. 振荡电路要产生自激振荡必须同时满足下列两个条件:相位平衡条件和振荡平衡条件。相位平衡条件是指放大器的反馈信号 u_f 与输入信号 u_i 必须同相。即 $\varphi_a + \varphi_f = 2n\pi$; 振幅平衡条件是指反馈信号 u_f 的幅度与原来输入信号的幅度相等,即 $|AuF|=1$ 。应当注意:振荡器在起振条件为 $|AuF|>1$,振荡器稳定振荡后,振幅平衡条件是 $|AuF|=1$ 。

4. LC 并联回路的谐振频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 。当外加的交流信号源的频率 $f=f_0$ 时，

谐振回路等效阻抗最大，且呈纯阻性。这样我们可以利用 LC 并联回路的谐振特性，在频率众多的信号中选出某一频率的信号加以放大，这种具有选频放大性能的放大器称为选频放大器，又称调谐放大器。

5. LC 正弦波振荡电路的振荡频率较高，按反馈方式不同，可分为变压器反馈式、电感反馈式和电容反馈式三种。它们的振荡频率 f_0 由 LC 谐振回路决定，

$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L'C'}}$ ， L' 和 C' 分别为谐振回路的等效电感和等效电容。

变压器反馈式振荡器， $L'=L$ ， $C'=C$ ， L 、 C 分别为谐振回路的电感与电容；

电感三点式振荡器中， $L'=L_1+L_2+2M$ ；

电容三点式振荡器中， $L'=L$ ， $C'=C_1C_2/(C_1+C_2)$ 。

6. 对于电感三点式振荡器和电容三点式振荡器，画出它们的交流通路后，可以用瞬时极性法判别电路能否产生振荡。但是我们通常根据普遍适用电路组成原则来判断电路是否满足相位平衡条件。电路的组成原则是：与晶体管发射极相接的是两个同性质的电抗元件（均是电容或均是电感元件），与晶体管基极相接的是两个不同性质的电抗元件（一个是电容元件，一个是电感元件）。

7. 石英晶体振荡器是利用石英晶体具有压电效应的特点而工作，其频率稳定度很高，有串联和并联两个谐振频率，分别为 f_s 和 f_p ，且 $f_p \approx f_s$ 。在 $f_s < f < f_p$ 极窄的范围呈感性，在 $f=f_s$ 时呈纯阻性，在其它频率范围内呈容性，利用石英晶体可构成串联型和并联型两种正弦波振荡电路。

8. 在分析电路是否可能产生正弦波振荡时，应首先观察电路是否包含四个组成部分，进而检查放大电路能否正常放大，然后利用瞬时极性，去判断电路是否满足相位平衡条件，必要时再判断电路是否满足幅值平衡条件。

第 9 章 高频小信号调谐放大器

本章教学要求

- (1) 了解无线电信号传输的基本原理。
- (2) 了解晶体、陶瓷、声表面滤波电路的滤波原理。
- (3) 了解集成中放电路实例。

重点：无线电信号传输的基本原理。晶体、陶瓷、声表面滤波电路的应用。

难点：晶体、陶瓷、声表面滤波电路的滤波原理。

内容提要与分析

1. 无线电通信的任务是利用电磁波将各种电信号由发送端传送给接收端。为了保证有效和可靠地利用电磁波传送信息，通信系统中发射机和接收机必须借助各种线性和非线性电子线路对携有信息的电信号进行处理。在这些变换和处理中，除放大外，最主要的是调制和解调。

2. 所谓调制是指：由携带信息的信号去控制高频振荡信号的某一参数，使该参数按照电信号的规律而变化的一种处理方式。通常将携有信息的电信号称为调制信号，未调制的高频振荡信号称为载波信号，经过调制后的高频振荡信号称为已调波信号。例如，受控的参数是高频振荡的振幅，则这种调制称为振幅调制，简称调幅，相应的已调波信号称为调幅波信号；如果受控的参数是高频振荡的频率或相位，则这种调制称为频率调制或相位调制，简称为调频或调相，并统称为调角，相应的已调波信号分别称为调频波信号或调相波信号，并统称为调角波信号。

所谓解调是调制的逆过程，它的作用是将已调波信号变换为携有信息的电信号。

3. 采用调幅方式的无线电通信发送设备的组成方框图如图 9.1 所示。

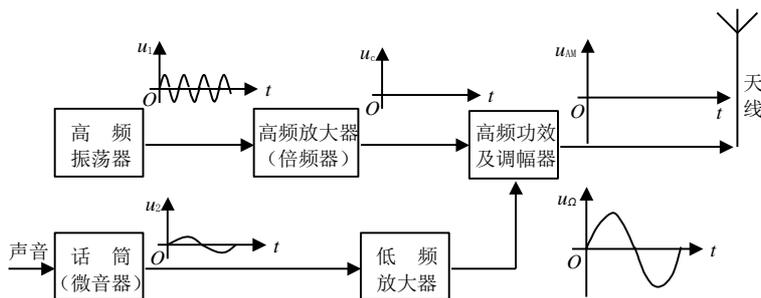


图 9.1 采用调幅方式的无线电通信发送设备的组成方框图

4. 采用调幅方式的无线电通信超外差接收机组组成方框图中图 9.2 所示。

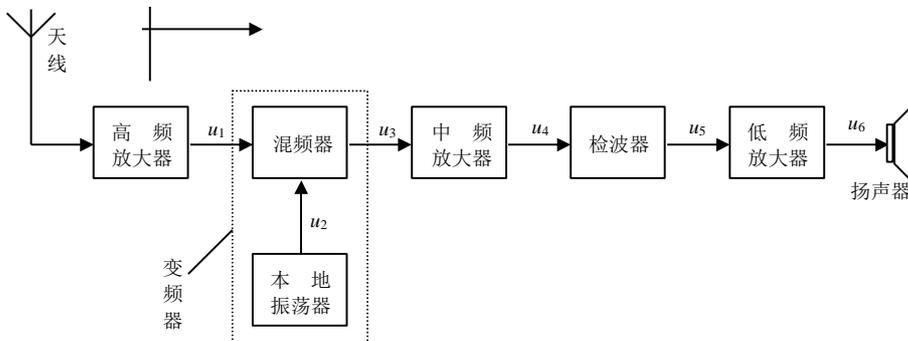


图 9.2 采用调幅方式的无线通信超外差式接收机械的组成方框图

5. 小信号调谐放大器不但具有放大作用, 而且具有选频作用, 它有分散选频和集中选频两大类。分散选频放大器的每级放大器都接入调谐负载, 多为分立元件电路, 其特点是可工作在频率较高或谐振频率可调的场合, 根据谐振负载(即选频网络)特点的不同, 又可分为单调谐回路谐振放大器和双调谐谐振放大器等。集中选频放大器的特点是放大和选频任务分别由放大器和谐振负载承担, 且谐振负载多为集中滤波器。

6. 为了克服分散选频的小信号调谐放大器线路复杂、调试不方便, 频率特性稳定度不高、可靠性差的缺点, 出现了采用集中滤波和集中放大相结合的集中选频放大器。由于这种放大器多用于中频放大, 故常称为集成中频放大器。集成中频放大器是由集成宽带放大器和集中滤波器组成。

7. 集中滤波器有 LC 带通滤波器、陶瓷滤波器、晶体滤波器、声表面波滤波器等。

陶瓷滤波器是利用陶瓷体的压电效应制成的, 其工作原理基本上与石英晶体的工作原理相同, 已广泛应用于接收机中, 如收音机中放、电视机的伴音中放等。

声表面滤波谐振器具有工作频率高, 通频带宽、选频特性好、体积小和重量轻等特点, 广泛应用于各种电子设备中。

*第 10 章 高频功率放大器

一、教学要求

- (1) 理解谐振功率放大电路的基本工作原理。
- (2) 了解谐振功率放大电路的负载特性, 各极电压对电路性能的影响。
- (3) 了解馈电路与匹配滤波电路。
- (4) 了解高频功放集成模块。

重点: 谐振功率放大电路的基本工作原理。

难点: 谐振功率放大电路的特性。

二、内容提要与分析

1. 在无线电广播和通信发射机中, 为了获得大功率的高频信号, 必须采用高频

功率放大器。高频功率放大器按工作频率分为窄带高频功率放大器和宽带高频功率放大器。窄带高频功率放大器通常以 LC 并联谐振回路作负载，因此又称为谐振功率放大器。宽带高频功率放大器以传输线变压器为负载，因此又称为非谐振功率放大器。

2. 谐振功率放大器一般由电子器件、电源、馈电电路、选频回路组成。电子器件在电路中主要起开关控制作用，控制直流能量向交流能量的转变。功放包括两个电源，基极电源 V_{BB} 和集电极电源 V_{CC} 。其中 V_{BB} 主要是设置合理的工作状态，一般应保证晶体管工作在丙类状态； V_{CC} 则是提供直流能量。馈电电路的作用是既保证把 V_{BB} 和 V_{CC} 电源的电流馈送到晶体管的各极，又防止交流信号进入直流电源。选频回路的主要作用是传输高频信号、滤除谐波成分以及阻抗匹配的作用。

3. 谐振功率放大器为了提高效率，一般工作在丙类状态。为了使放大器可靠地工作在丙类状态，使 $V_{BB} \leq 0$ ，即 V_{BB} 为负电源或不加基极电源，静态时三极管处于截止状态。当在输入端加入激励信号（如余弦波）且其幅度足够大，则在超过基—射极间导通电压的时间晶体管导通，而其它时间晶体管截止，使晶体管集电极电流形状是一个余弦脉冲，而利用谐振回路的选频作用，可以将集电极余弦脉冲电流变换为不失真的输出余弦电压，根据选频网络调谐频率的不同，当谐振频率调在基波频率上时，选出了与输入信号频率相同的信号，当选频网络调谐在所需的 n 次谐波频率上，则在负载上得到频率为输入信号频率 n 倍的输出信号，即实现 n 倍频。

4. 在基极输入余弦电压 u_b 的作用下，丙类谐振功放中的放大管将经历不同的工作区域，使放大器工作在不同状态。当基极输入电压的瞬时值 u_b 不太大，使 $u_{BE} \leq U_{th}$ 时，管子将截止；当 u_b 变大使 $u_{BE} > U_{th}$ 时，管子将导通。如果 u_b 的振幅 U_{bm} 不很大，则管子导通时均处于放大区，则称丙类放大器工作于欠压状态；如果 U_{bm} 很大，则管子导通时将从放大区进入饱和区，于是称丙类放大器工作在过压状态；如果 U_{bm} 的大小恰好使管子导通时从放大区进入临界饱和，则称丙类放大器工作在临界状态。

5. 在谐振功放中，如果保持 V_{BB} 、 V_{CC} 和 U_{bm} 不变，则随着 U_{cm} 的增大，谐振功放的工作状态由欠压向临界，过压变化。在欠压临界状态， i_c 为余弦脉冲，随着 U_{cm} 的增大， i_c 的宽度不变而幅度略有减小；在过压状态下， i_c 为顶部下凹的余弦脉冲，随着 U_{cm} 的增大， i_c 的宽度不变而下凹加深，且幅度减小。

6. 谐振功率放大器的负载特性是指 V_{BB} 、 U_{bm} 和 V_{CC} 一定，放大器性能随选频网络的谐振阻抗 R 变化的特性。当 R 由小增大时，放大器将经历欠压、临界、过压三种状态。在欠压区，随着 R 的增大， I_{c0} 和 I_{cm1} 略有减小， U_{cm} 和 P_o 近似线性增

大, P_v 略有下降, P_T 减小。在过压区随 R 的增大, I_{co} 和 I_{cm1} 迅速减小, U_{cm} 却略有增大, P_v 也迅速减小, P_o 减小, η 略有增大, P_T 略有减小。在临界状态时, P_o 达到最大值, 此时 η 也较大, 故临界状态为谐振功放的最佳工作状态, 与之相应的 R 称为谐振功放的最佳负载或匹配负载。

7. 谐振功放的调制特性有集电极调制特性和基极调制特性。

集电极调制特性是指 U_{bm} 、 V_{BB} 和 R 一定时, 谐振功放性能随 V_{CC} 变化的特性。当 V_{CC} 由小增大时, 放大器将历经过压、临界、欠压三种工作状态。当 V_{CC} 很小时, 放大器工作在强过压区, I_{co} 、 I_{cm1} 和 U_{cm} 均很小, 随着 V_{CC} 的增大, 放大器逐渐靠近临界状态, I_{co} 、 I_{cm1} 和 U_{cm} 迅速增大。在欠压区, 随着 V_{CC} 的增大, I_{co} 、 I_{cm1} 和 U_{cm} 仅略有增大。因此, 在集电极调幅电路中, 放大器必须在 V_{CC} 的变化范围内工作在过压状态。

基极调制特性是指 U_{bm} , V_{CC} 和 R 维持不变, 谐振功放性能随 V_{BB} 变化的特性。当 V_{BB} 由小增大时, 放大器将历经欠压、临界、过压三种工作状态。在欠压区, 随 V_{BB} 的增大, I_{co} 、 I_{cm1} 和 U_{cm} 迅速增大; 而在过压区, 随着 V_{BB} 的增大, I_{co} 、 I_{cm1} 和 U_{cm} 仅略有增大。因此要使输出谐振回路上电压的振幅 U_{cm} 按 V_{BB} 的规律变化, 放大器必须在 V_{BB} 的变化范围内工作在欠压状态。

8. 谐振功放的放大特性是指 V_{BB} 、 V_{CC} 和 R 维持不变, 放大器的性能随 U_{bm} 变化的特性, 其特性与基极调制特性相类似。因此当谐振功率放大器作为线性功放时, 为了使输出信号振幅 U_{cm} 反映输入信号振幅 U_{bm} 的变化, 放大器必须在 U_{bm} 变化范围内工作在欠压状态。

9. 在谐振功率放大器, 它的管外电路由直流馈电电路和滤波匹配网络两部分组成。

谐振功放的直流馈电电路有串联和并馈两种方式。所谓串馈是指直流电源 V_{CC} 、滤波匹配网络和功率管在电路形式上为串接的一种馈电方式。所谓并馈是指直流电源 V_{CC} 、滤波匹配网络和功率管在电路形式上为并接的一种馈电方式。

就交流通路而言, 滤波匹配网络介于功率管 V 和负载 R_L 之间, 它主要有如下作用: (1) 将外接负载 R_L 变换为放大管所要求的负载 R , 以保证放大器高效率地输出所需功率; (2) 充分滤除不必要的高次谐波分量, 以保证外接负载上输出所需基波功率 (在倍频器中所需的倍频功率)。

*第 11 章 调幅与检波

一、教学要求

- (1) 理解调制的作用。
- (2) 理解调幅波的波形、频谱、功率。
- (3) 了解平衡调制电路与环形调制电路的工作原理。
- (4) 理解二极管检波电路及其工作原理。
- (5) 理解同步检波电路及其工作原理。

重点：调幅波的特性及检波的原理。

难点：调幅及检波的工作原理。

二、内容提要与分析

1. 振幅调制就是用低频调制信号去控制高频载波的振幅，使它随着低频调制信号的变化而变化。振幅调制简称为调幅。其中把振幅变化的轨迹称为包络线，被低频信号调制后的载波称已调波。振幅调制分成三种方式：普通的调幅方式（AM）；抑制载波的双边带调投影方式（DSB）和单边带调制方式（SSB）。所得的已调波分别称为调幅波，双边带调制波和单边带调制波。

2. 单频调制信号调制后得到的调幅波，在波形上它的包络与调制信号形状完全相同，即反映了调制信号的变化规律；在频域上调幅波不再是单一的正弦波，而是由三个正弦波的迭加，这三个正弦波的频率分别为：载频 ω_c ，上边频 $\omega_c+\Omega$ ，下边频 $\omega_c-\Omega$ 。如果复杂调制信号的频谱宽度为 $0\sim F_{\max}$ ，则被它调制的调幅波的频谱宽度为 $B=2F_{\max}$ 。

3. 调幅度 m_a 是反映载波振幅受调制信号控制程度的重要参数。当 $m_a>1$ 时调幅波将产生过调幅失真，因此为了避免出现过调幅失真，应使调幅系数 $m_a\leq 1$ ，一般为30%。

4. 普通调幅波的功率与调幅度密切相关，其总的平均功率 $P_{av}=(1+m_a)^2P_c$ （ P_c 是载波功率）。从信息传输的角度来看，调幅波平均功率 P_{av} 中真正有用的是边频功率 P_{sb} ，载波功率 P_c 是没有用的。当 $m_a=1$ 时， P_{sb} 在 P_{av} 中所占比例最大，这时 $P_{sb}=P_{av}/3$ ；而当 $m_a=0.3$ 时， $P_{sb}\approx 0.045P_{av}$ 。因此，有用的边频功率占整个调幅波平均功率的比例很小，发射机的效率很低，为此，可未用抑制载波的双边带调制或单边带调制。

5. 振幅调制电路是无线电发射机的重要组成部分。按照产生调幅波方式的不同，调幅电路有普通调幅电路，双边带调幅电路和单边带调幅电路；按照输出功率高低分，可分为低电平调幅和高电平调幅。前者置于发射机的末端，要求产生功率足够大的已调信号，后者置于发射机的前端，产生小功率的已调信号，而后通过多级线

性功率放大器放大到所需的发射功率。

6. 在调幅发射机中，一般采用高电平调制电路。为了提高发射机的效率，高电平调制电路广泛采用高效率的丙类谐振功率放大器。集电极调幅电路是根据谐振功率放大器的集电极调制特性，将调制信号加到集电极上；基极调幅电路是根据谐振功率放大器的基极调制特性，将调制信号加到基极上。

7. 低电平调制电路主要用来实现双边带和单边带调制，对它提出的主要是调制线性好，载波抑制能力强，而功率和效率的要求是次要的。在低电平调幅电路中，普遍采用模拟乘法器这一非线性器件和适当的滤波器件构成。此外，还有二极管平衡调制器和二极管环形调制器等。

8. 解调是调制的逆过程。振幅调制信号的解调电路称为振幅检波电路，简称检波电路，它的主要作用是从调幅信号中不失真地检出调制信号。在频域上，解调的作用是把调幅信号频谱不失真地搬回到零频率附近。因此振幅检波电路也是一种频谱搬移电路，可以利用非线性元件实现。

9. 常用的检波器电路有小信号平方律检波器、大信号包络检波器和乘积检波器（同步检波器）。

同步检波器常由乘法器和低通滤波器组成，因此这种检波器又称为模拟相乘检波器。模拟乘法器输入调幅信号与同步信号。对于双边带调制来说，同步信号可直接从双边带调制信号中提取出来；对于具有导频信号的单边带调制来说，它可用提取出的导频信号去控制本地振荡器而获得。一般情况下可采用频率合成器来产生同步信号。同步检波器可用于各种调幅信号的检波。

10. 对于普通调幅波，可采用包络检波器进行检波。目前应用最广的是二极管包络检波器（集成电路中多采用三极管包络检波器）。它在结构上与原理上与半波整流、电容滤波电路基本相同。但大信号包络检波器的输入信号不是低频等幅交流电压，而是高频调幅波电压。前者得到的是直流分量，故滤波电容量很大；后者要得到的是低频分量，故检波负载电容较小。

理想情况下，大信号包络检波器的输出波形应与输入调幅波包络形状完全相同。但是实际上，二者总会有一些差别，即检波器产生了失真，它包括非线性失真、截止失真、频率失真、惰性失真和负峰切割失真。其中惰性失真和负峰切割失真是大信号包络检波器特有的失真。

*第 12 章 混频与倍频

一、教学要求

- (1) 理解混频电路的工作原理。
- (2) 了解集成混频电路。
- (3) 了解变频干扰。
- (4) 理解倍频电路的工作原理。
- (5) 掌握自动增益控制电路的工作原理。

重点：混频电路及倍频及自动增益控制电路电路的原理。

难点：自动增益控制电路电路的原理。

二、内容提要与分析

1. 混频电路又称变频电路，是超外差式接收机的重要组成部分，它的主要作用是将高频已调波经过频率变换，变为固定中频已调波。在变频过程中，信号的频谱内部结构（即各频率分量的相对振幅和相互间隔）和调制类型（调幅、调频还是调相）保持不变，改变的只是信号的载频。

2. 由于变频器是频谱搬移电路，所以它和调幅器、检波器一样，也必须采用非线性器件。它一般由非线性器件、本地振荡器和带通滤波器组成。本地振荡器产生本振信号；非线性器件将输入高频信号和本振信号进行混频，以产生新的频率；带通滤波器则用来从各种频率成分中取出中频信号。

3. 通常非线性器件和带通滤波器合在一起称为混频器，即混频器中非线性器仅实现频率变换，而本振信号由另一器件产生。如果混频器和本地振荡器共用一个器件，即非线性器件既产生本振信号，又实现频率变换，则称之为变频器。

4. 常用的混频电路有模拟相乘混频器、二极管环形混频器和三极管混频器。

模拟相乘器混频电路一般由本地振荡器、模拟乘法器和带通滤波器组成。

二极管环形混频器具有电路简单、噪声系数低、组合频率分量少、工作频带宽、动态范围大等优点而曾被广泛采用。

三极管混频器是利用晶体三极管的非线性实现变频的。由于具有较高的变频增益，故在一般接收机中，为了简化电路，经常被采用。

5. 倍频器也是一种频率变换电路。实现倍频电路很多，主要有丙类倍频器和参量倍频器。参量倍频器是利用变容管的结电容和外加电压的非线性关系对输入信号进行非线性变换，再由谐振回路从中选取所需的 n 次谐波分量，从而实现 n 倍频的。丙类倍频器的电路形式与丙类谐振功放的电路相同，不同之处仅在于倍频器的输出谐振回路不是调谐在基频，而是调谐在所需的 n 次谐波频率上。

6. 一般情况下，由于混频器件的非线性，混频器将产生各种干扰和失真。

在混频过程中会产生组合频率干扰、副波道干扰、交调干扰、互调干扰等。抑制干扰的主要方法是提高前级的选择性，以及调整混频器的工作状态，并正确选择偏压、信号电压和本振电压的大小。

7. 自动增益控制电路（AGC 电路）是接收机的重要辅助电路之一。其主要功能是根据输入信号的电平大小，调整接收机的增益，从而使输出信号电平保持稳定，即当输入信号很弱时，接收机增益高；当输入信号很强时，接收机的增益低。

AGC 电路包括：（1）产生一个随输入信号大小而变化的控制电压，即 AGC 电压；（2）利用 AGC 电压去控制某些级的增益，实现 AGC。

接收机的 AGC 电压大都是利用它的中频输出信号经检波后产生的，按照 AGC 电压产生方法的不同，AGC 电路可分为平均值型、峰值型、键控型、峰值键控型等。而平均值 AGC 电路应用最为广泛，它是利用检波器输出电压的平均直流分量作为 AGC 电压的。

*第 13 章 调频与鉴频

一、教学要求

- （1）了解调频波的波形、频谱、带宽。
- （2）了解调频与调相及其差异。
- （3）理解变容管调频电路的工作原理。
- （4）理解集成压控振荡调频电路的工作原理。
- （5）了解集成鉴频电路。
- （6）理解自动频率控制电路的工作原理。

重点：调频波的特点，调频电路、鉴频电路的分析。

难点：自动频率控制电路的工作原理。

二、内容提要与分析

1. 频率调制和相位调制是广泛采用的两种基本调制方式。其中，频率调制简称为调频，它是使载波信号的频率按调制信号规律变化的一种调制方式；相位调制，简称调相，它是使载波信号的相位按调制信号规律变化的一种调制方式。两种调制方式都表现为载波信号的瞬时相位受到调变，故统称为角度调制，简称调角。

2. 无论是调频信号还是调相信号，它们的 $\omega(t)$ 和 $\varphi(t)$ 都同时受到调变，其区别仅在于调制信号规律线性变化的物理量不同，这个物理量在调相信号中是 $\Delta\varphi(t)$ ，在调频信号中是 $\Delta\omega(t)$ 。

3. 理论分析证明，无论调制信号是单一频率或者复杂的多个频率，在调频波的频谱中，除了载波频率之外，在它的两侧还有无数对由谐波组成的边频。相邻边频之间的间隔为调制信号频率。这些边频分量的分布结构与调频指数 m_f 有着密切的关系，当 m_f 值越大，则较大幅度的谱线就越多，这就是调频波频谱的主要特点。

4. 调频波的有效频谱宽度可用下式估算：

$$B=2(m_f+1)F_{\max}$$

5. 调频波与调幅信号相比具有抗干扰能力强，失真小等优点。

6. 实现调频的方法有直接调频和间接调频。所谓直接调频电路，是指用调制信号直接控制振荡器瞬时频率变化以实现调频的电路。对 LC 正弦波振荡器的直接调频电路，由于其振荡频率主要取决于振荡回路的电感量和电容量。因此，只要在振荡电路中接入可变电抗器件（例如是可变电容）并使该电抗器件受调制信号控制，就可以产生振荡频率随调制信号变化的调频波。

实际电路中，可变电抗种类有：变容二极管，具有铁氧体磁心的电感线圈、电容式话筒等。

7. 调频波的解调称为频率检波，简称鉴频。由于调频波为等幅疏密波，它所传递的信息包含在它的频率变化之中。鉴频器的输出信号必须与输入调频波的瞬时频率变化成线性关系。

8. 鉴频的方法有很多种，其基本工作原理都是将输入的调频波进行特定的波形变换，使变换后的波形包含反映瞬时频率变化的平均分量，再通过低通滤波器就能得到所需的调制信号。常见的鉴频器有斜率鉴频器、相位鉴频器、脉冲计数式鉴频器。

9. 在电子设备中，除了采用自动增益控制外，还广泛采用自动频率控制 AFC。AFC 又称自动频率微调，它也是一种反馈控制电路，能自动调整振荡器的频率，使之稳定在某一预期的标准频率附近。

10. 锁相在电子学和通信技术中应用十分广泛。用锁相技术进行稳频，比用频率自动控制技术进行稳频，在性能上要优越得多，因为采用 AFC 进行稳频时，输出信号总有一定偏差，即所谓的剩余频率误差；而采用锁相技术进行稳频时，可实现零偏差跟踪。

锁相环路一般由鉴相器、环路滤波器和压控振荡器组成。鉴相器就是相位检波

器，它是实现输入信号和压控振荡器的输出信号相位比较的电路。环路滤波器是一个低通滤波器，它的作用是滤除误差电压中的高频成分和噪声，输出反映相位差的误差电压。压控振荡器是受环路滤波器输出误差电压的控制，使压控振荡器的频率向输入信号频率靠拢，直至消除频差而锁定在一固定相位上。

第 14 章 脉冲的基础知识

一、教学要求

本章是脉冲电路的基础，主要介绍了一些基本概念与器件的开关特性。本章的教学要求如下：

- (1) 了解电脉冲的基本概念及主要参数。
- (2) 理解微分电路、积分电路、脉冲分压器的基本原理。
- (3) 了解二极管的开关特性及其应用。
- (4) 了解三极管的开关特性及其应用。
- * (5) 理解反相器的工作原理。

重点：脉冲的主要参数，构成微分、积分的条件及变换波形，三极管的开关特性。

难点：RC 的过渡过程。

二、内容提要与分析

1. 脉冲信号是指持续时间极短的电压或电流信号，常见的脉冲波形有：矩形波，锯齿波，尖脉冲，阶梯波等，最常用的是矩形脉冲波。我们必须了解脉冲信号的主要参数，如脉冲幅度 U_m 、脉冲上升沿 f_r 、脉冲下降沿 t_f 、脉冲宽度 t_w 及脉冲周期 T 的含义。

2. 电阻 R 和电容 C 构成简单的 RC 电路，常见的 RC 电路有 RC 微分电路， RC 积分电路， RC 脉冲分压器。由于电容 C 是储能元件，电容器两端电压不能突变。所以 RC 电路存在过渡过程。

过渡过程的快慢，由电路的时间常数 τ 来决定， $\tau = RC$ ， R 是电路中与元件 C 相串联的等效电阻。 τ 小过渡过程快；反之， τ 大则过渡过程慢。从理论上讲，只有电路经过 $t \rightarrow \infty$ 的时间才能达到稳定状态，但在工程实际中，一般认为经过 $t = (3-5)\tau$ 时间，电路就能进入稳定状态，过渡过程即可结束。

3. RC 微分电路和 RC 积分电路是脉冲电路中常用的变换脉冲波形状的电路。

RC 微分电路的输出信号从电阻两端取出，在电路时间常数 τ 远远小于输入的矩

形波脉冲宽度 t_w ，即 $\tau \ll t_w$ 时，能把矩形波变换成正负尖脉冲。通常当 $\tau \leq \frac{1}{5}t_w$ 时，就认为满足微分电路条件。

RC 积分电路的输出信号取自电容 C 两端，在电路时间常数 τ 远大于输入的矩形脉冲宽度 t_w ，即 $\tau \gg t_w$ 时，将输入的矩形脉冲变换成三角波。通常当 $\tau \geq 3t_w$ 时，就认为满足积分电路条件。

在脉冲电路中经常使用脉冲分压器将脉冲信号分压后送到下一级，为了使输出的信号不产生失真，应合理选择加速电容的容量。

4. 在数字电路中二极管通常工作在开关状态。当二极管两端电压大于门坎电压时（对于硅管通常 $u_D > 0.7V$ ），二极管导通，相当于开关闭合。当二极管两端电压小于门坎电压时（对于硅管， $u_D < 0.5V$ ，通常是反向电压），二极管截止，相当于开关断开。

二极管从截止到导通与从导通到截止相比，所需时间极短，一般可忽略不计。二极管从导通转换到截止，需经过一段反向恢复时间后，二极管才能从导通状态转变到截止状态，这就存在二极管的反向恢复时间。

5. 在数字电路中，三极管起开关作用，经常在截止区和饱和区之间进行快速转换，经过放大区的时间则是很短促的，一般不加以考虑。

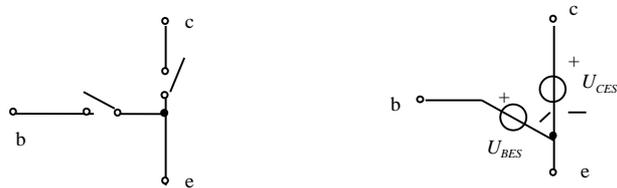
(1) 截止状态

条件：三极管的发射结和集电结均为反向偏置。

特点：(a) $I_B \approx 0$, $I_C \approx 0$

(b) $u_O = u_{CE} \approx +V_{CC}$

(c) 三极管 c 、 e 极之间近似于开路，相当于开关断开，其等效电路如图 14-1(a)所示。



(a) 截止时

(b) 饱和时

图 14-1 三极管的开关等效电路

对于 NPN 型硅管而言，只要 $U_{BE} < U_{th}$ 管子就处于截止状态。但在数字电路中，为了保证晶体管可靠截止，常在基极上另外加上一个负偏压 ($-V_{BB}$)。

(2) 饱和工作状态

条件：发射结和集电结均为正向偏置。

特点： (a) $I_B \geq I_{BS} = \frac{I_{CS}}{\beta}$

$$I_C = I_{CS} \approx \frac{V_{CC}}{R_c}$$

(b) $U_{BE} = U_{BES} \approx +0.7V$

$$U_{CE} = U_{CES} \approx +0.3V$$

(c) 晶体管在饱和状态时，其集电极和发射极之间等效电阻很小，相当于开关闭合，其等效电路如图 14-1(b)所示。

6. 为了提高晶体管的开关速度，缩短开关时间，通常在基极回路中引进加速电容 C_S 。它是利用加速电容 C_S 两端电压不能突变的特性，使 C_S 只在输入信号 u_I 发生跳变时起作用，并在晶体管开启与关闭的瞬间提供很大的正向基极电流和反向基极电流，而不影响稳定状态。这样，既加速了晶体管的导通，又加速了晶体管的截止，从而减少了晶体管的开关时间。

7. 在数字电路中，晶体管相当于一个由基极电流所控制的无触点的电子开关元件。反相器就是利用三极管的开关特性，使输出信号与输入信号反相的开关电路。

第 15 章 数制与逻辑代数

一、教学要求

- (1) 掌握二进制数、十进制数及其相互转换；了解 BCD 码、反射码。
- (2) 掌握基本逻辑运算，逻辑函数的表示方法。
- (3) 掌握逻辑代数中的基本公式。
- (4) 掌握逻辑函数的公式化简法。
- (5) 理解逻辑函数的卡诺图化简法。

重点：二进制与十进制数的相互转化，BCD 码，逻辑代数的运算，逻辑代数的化简。

难点：逻辑函数的化简。

二、内容提要与分析

1. 在数字电路中常用的是二进制数。将十进制数转换成二进制整数，采用除二取余倒记法。这种方法是先用 2 去除十进制整数第一次得到的余数即为该进制数的最低位系数，再继续除 2 取余数，直到商等于 0 为止，最后得到的余数为最高位。

将二进制数转换为等值的十进制数的方法，就是求其各位加权系数之和，即把每一位系数乘上该位的权，然后把每一位所得的积相加，即可得到相对应的十进制数。

用四位二进制码来表示一位十进制数称为二—十进制编码，简称 BCD 码。BCD8421 码是最常用的一种编码方式，格雷码（又称反射码）有时也会用到。

2. 数字电路主要研究各部分单元电路之间的逻辑关系以及电路自身输出与输入之间的逻辑关系。

逻辑代数是用以描述逻辑关系，反映逻辑变量运算规律的数学。逻辑变量是用来表示逻辑关系的二值量。它的取值只有 0 和 1 两种，它们代表逻辑状态而不是数量。基本的逻辑关系有与、或、非逻辑三种。实际的逻辑问题往往比与、或、非复杂得多，不过它们都可以用与、或、非的组合来实现。最常见的复合逻辑运算有与非、或非、与或非、异或、同或等。

3. 若干个逻辑变量由与、或、非三种基本逻辑运算组成复杂的运算形式，这就是逻辑函数。逻辑函数通常有四种方式，即真值表、逻辑表达式、卡诺图以及逻辑图，它们之间可以相互转换。

4. 逻辑代数中有许多基本定律和公式，这是进行逻辑函数化简的依据，它既有与普通代数相同之处，又有不同之处，必须加以区别。

5. 化简逻辑函数的目的是为了消去与或表达式中多余的乘积项和每个乘积项中多余的因子，以得到逻辑函数式的最简形式。逻辑函数的化简方法有公式法和卡诺图法。公式化简法适用于任何复杂的逻辑函数，特别是变量多的逻辑函数的化简，它需要熟练地掌握逻辑代数的常用公式，并且要有一定的技巧。卡诺图化简法则比较直观、简便，也容易掌握。但是，当变量增多时，显得复杂，所以一般多用于五变量以下逻辑函数的化简。

第 16 章 逻辑门电路

一、教学要求

(1) 掌握与门、或门、非门的逻辑功能。

(2) 理解 TTL 门电路：与或非门、同或门、异或门、OC 门与三态门的功能及典型应用。

(3) 理解 CMOS 电路：CMOS 反相器的工作原理及外特性、CMOS 门电路、CMOS 传输器和模拟开关。

(4) 了解 TTL 与 CMOS 门电路及其使用常识。

重点：基本逻辑门的逻辑功能、逻辑表达式及符号。

难点：逻辑门的工作原理及接口电路

二、内容提要与分析

1. 分立元件逻辑门电路是组成单元逻辑门的原始形式，目前已被集成电路所取代。但通过介绍分立元件逻辑门，引入用门电路实现逻辑运算的概念。

2. 在双极型数字集成电路中，TTL 电路应用最为广泛。因为它的工作速度快，带负载能力和抗干扰能力强，输出幅度也较大。TTL 门电路的基本形式是与非门，另外还有与门、或门、非门、与或非门、同或门、异或门等多种具有其它功能的门电路。在学习这些集成电路时应将重点放在它们的外部特性上。外部特性包含两个内容，一是输出与输入之间的逻辑关系，即所谓逻辑功能；另一个是外部特性，主要是电压传输特性。传输特性一般分为三个区：截止区、转折区、饱和区。根据传输特性可以得到：输出高电平 U_{OH} 、输出低电平 U_{OL} 、开门电平 U_{ON} 、关门电平 U_{OFF} 及门限电平 U_{TH} 。

3. OC 门电路是将原 TTL 门电路的输出级三极管集电极开路，并取消集电极负载电阻。使用时为保证 OC 门正常工作，必须在集成门电路的输出端新接一个集电极负载电阻。几个 OC 门电路并联在一起，只要外接一个负载电阻即可，它能够实现线与功能。

4. 三态门又称 3S 门或 TSL 门，它有三种输出状态，分别是：高电平、低电平、高阻态。其中，高阻状态下，输出端相当于开路。利用三态门，可以做到在同一条传输线上分时传递几个门电路信号。

5. MOS 集成电路是数字集成电路的一个重要系列，它具有功耗低、抗干扰性能好、制造工艺简单，易于大规模集成等优点，是目前应用最广泛的一种集成电路。MOS 集成电路可分为 NMOS、PMOS、CMOS 集成电路。其中 CMOS 集成电路的功耗小，工作速度快，应用尤为广泛。

6. TTL 集成电路对电源要求较高，电源电压应满足 $5 \pm 0.5V$ 。TTL 电路中，与门、与非门的多余输入端可以悬空，也可以将多余输入端直接或通过一定阻值的电阻接 $+V_{CC}$ ；或门、或非门的多余输入端应接地或并联使用。

7. CMOS 集成电路的电源范围较宽，可达 3~18V。多余的输入端根据逻辑功能或接高电平，或接低电平，以防感应静电而受干扰或损坏器件。

8. 接口问题是逻辑器件在应用中必然存在的问题，妥善解决不同电路的接口问题，以保证逻辑电路的正确使用。

第 17 章 组合逻辑电路

一、教学要求

(1) 理解组合逻辑电路的特点和分析方法。

(2) 了解译码器和数字显示器电路：3——8 线译码器、二——十进制译码器、常用数字显示器件及其工作原理，数字显示译码器的构成。

(3) 了解数据分配器和数据选择器。

(4) 了解二——十进制编码器。

重点：组合电路的分析方法，常见的组合逻辑电路。

难点：常见组合逻辑电路的工作原理。

二、内容提要与分析

1. 根据逻辑功能的不同，可以把数字电路分成两大类，一类叫组合逻辑电路（简称组合电路），另一类叫时序逻辑电路（简称时序电路）。

2. 在组合逻辑电路中任意时刻的输出仅仅取决于该时刻的输入，与电路原来的状态无关。这就是组合逻辑电路在逻辑功能上的共同特点。

3. 组合逻辑电路的分析，就是根据给定的逻辑电路，分析出电路的逻辑功能。通常采用分析步骤如图 17.1 所示。

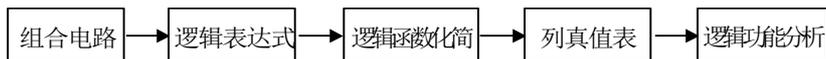


图 17.1 组合逻辑电路分析步骤

4. 组合逻辑电路的设计，就是根据给定的功能要求，得到实现该功能的最简单的组合逻辑电路。设计组合逻辑电路的步骤如图 17.2 所示。

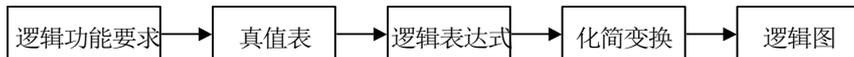


图 17.2 组合逻辑电路的设计步骤

5. 常见的组合逻辑电路有编码器、译码器、数据选择器与分配器、加法器、数值比较器等。

6. 在数字电路中，经常要把输入的各种信号（例如将十进制数、文字、符号等转换成若干位二进制码，这种转换过程称为编码，能够完成编码的组合逻辑电路称为编码器。常见的有二进制编码、二——十进制编码器（BCD 编码器）和优先编码

器等。

7. 译码是编码的逆过程，其功能是把某种代码“翻译”成一个相应的输出信号，例如把编码器产生的二进制码复原为原来的十进制数。按照功能不同，译码器可分为通用译码器和显示译码器两大类。

8. 在数字系统中，要将多路数据进行远距离传送时，为了减少传输线的数目，往往是多个数据通道共用一个传输总线来传送信息。能够实现把多个数据通道的信息有选择地传送到共同传输总线上的电路称为数据选择器，它是一个多输入、单输出的组合逻辑电路。数据分配器与数据选择器的功能正相反，它能够实现把共同传输线上的信息有选择地传送到不同的输出端。

第 18 章 集成触发器

一、教学要求

触发器是时序逻辑电路的基础，只有掌握了触发器的逻辑功能，才能对时序逻辑电路进行正确的分析。本章的教学要求是：

(1) 掌握基本 R-S 触发器的电路组成、工作原理。

(2) 掌握同步 R-S 触发器的电路组成、工作原理。

(3) 掌握 R-S 触发器、J-K 触发器、D 触发器、T 触发器、T'触发器的逻辑功能。

(4) 理解边沿集成触发器的触发方式、工作波形及特性参数；*掌握触发器功能转换。

重点：R-S 触发器、J-K 触发器、D 触发器、T 触发器、T'触发器的逻辑功能。

难点：R-S 触发器、J-K 触发器、D 触发器的工作原理。

二、内容提要与分析

1. 触发器是一种具有记忆功能的基本逻辑单元，它有 0 状态和 1 状态两个稳定状态。在不同的输入情况下，它可以被置成 0 状态，也可以被置成 1 状态，或者从一个状态转换到另一个状态。输入信号消失后，它能保持原状态不变。

2. 双稳态触发器有两个稳定状态：0 状态或 1 状态，它是构成 RS 触发器、JK 触发器、D 触发器、T 触发器和 T'触发器的基础。

3. 基本 RS 触发器是触发器中电路结构最简单、最基本的一种，是构成其它各种触发器中的最基本的组成部分。逻辑符号中， \bar{S}_D 和 \bar{R}_D 是两个输入端，其中 \bar{S}_D 称为置 1 端（或称置位端）， \bar{R}_D 称为置 0 端（或称复位端），字母上面的“非号”表示

低电平有效。当没有输入信号时， \bar{S}_D 和 \bar{R}_D 均保持高电平“1”。

基本 RS 触发器有两个稳定状态：0 态和 1 态。由两个输出端电平的高低来表示， $Q=0$ 、 $\bar{Q}=1$ 表示 0 状态； $Q=1$ 、 $\bar{Q}=0$ 表示 1 态。

4. 在实用上，常要求触发器能在控制信号的作用下同步工作，所谓同步就是指触发器状态的改变与时钟脉冲 CP 波形同步，也就是只有在控制端出现脉冲信号时，触发器才动作，至于触发器输出什么状态，仍由 R、S 端的高、低电平来决定。这种带有控制端的基本 RS 触发器称为同步 RS 触发器。

当时钟脉冲 CP=0 时，同步触发器保持原状态不变；只有 CP=1 时，触发器才能根据 R、S 的状态而变化。同步 RS 触发器是用高电平置 1 或置 0 的，没有信号输入时，R、S 端应为低电平。

5. 为了提高触发器的可靠性，增强抗干扰能力，常常用到边沿触发器。常用到的边沿触发器有边沿 D 触发器和边沿 JK 触发器。

D 触发器是一种应用十分广泛而且又非常方便的触发器，它仅有一个输入控制端，一个时钟脉冲输入端，它的输出状态仅取决于 CP 上升沿或下降沿时 D 的状态。

JK 触发器是一种功能最强的触发器，它具有置 0、置 1、翻转和保持不变的功能。

将 JK 触发器的输入端 J、K 连接在一起，作为输入端 T，这就构成了 T 触发器。

第 19 章 时序逻辑电路

一、教学要求

时序逻辑电路是数字电路的重要部分。本章的教学要求是：

(1) 理解时序逻辑电路的特点及分类。

(2) 了解数码寄存器、移位寄存器、中规模集成移位寄存器。

(3) 理解二进制计数器的逻辑功能（同步、异步、加法、减法），异步二进制计数器的连接，十进制计数器；了解常用的中规模集成计数器的功能及应用，了解移位型计数器。

重点：常见时序电路的功能及应用。

难点：时序逻辑电路的工作原理。

二、内容提要与分析

1. 时序电路的特点是：电路的输出状态不仅与同一时刻的输入状态有关，而且

与电路的原有状态有关。时序电路的组成除有组合逻辑电路外，还包含有存储记忆电路。常见的存储电路是由触发器构成。

2. 时序电路可分为同步时序电路和异步时序电路。同步时序电路存储电路的各触发器都受到同一时钟脉冲控制，所有触发器的状态变化均在同一时刻发生。异步时序电路的各触发器没有统一的时钟脉冲或没有时钟脉冲，各触发器状态变化不发生在同一时刻。

3. 寄存器是具有存储数码或信息功能的逻辑电路。凡是具有记忆功能的触发器都能寄存数码。寄存器可分为数码寄存器和移位寄存器两类，其中数码寄存器采用并行输入——并行输出的方式存储数码，但没有数码移位功能。移位寄存器的特点是不仅能存放由数码组成的数据，而且还能将数码的进行移位（左移、右移或双向移位）。移位寄存器可实现串入——并出，或并入——串出等功能。

4. 能够对输入脉冲的个数进行计数的电路称为计数器。计数器的种类繁多。如果按计数器中的触发器是否同步翻转分类，可以把计数器分为同步式和异步式。如果按计数过程中数字的增减分类，又可以把计数器分为加法计数器、减法计数器和可逆计数器。如果按计数器中数字的编码方式分类，还可以分为二进制计数器、二——十进制计数器、循环码计数器。

第 20 章 脉冲波形的产生与变换

一、教学要求

脉冲信号发生器及变换电路是电子电路不可缺少的内容，本章重点介绍了几种典型的脉冲信号产生及变换电路，具体教学要求：

(1) 掌握施密特电路的工作原理及应用。

(2) 掌握单稳态电路的工作原理及应用。

(3) 掌握多谐振荡电路的工作原理及应用。

(4) 掌握锯齿波电压发生器：锯齿波电压参数、简单锯齿波电压发生器；了解密勒积分电路的工作原理。

(5) 了解 555 时基电路的应用。

重点：施密特电路、单稳态电路、多弦振荡器、555 的工作特点及应用。

难点：施密特电路、单稳态电路、多弦振荡器、555 的工作原理。

二、内容提要与分析

1. 施密特触发器是脉冲波形变换中经常使用的一种电路。它在性能上有如下特点：

(1) 电路有两个稳定状态，因此它是一个双稳态电路；

(2) 输入信号从低电平上升时，与输入信号从高电平下降时电路状态转换对应的输入电平不同，即存在滞回特性。

(3) 在电路状态转换时，通过电路内部的正反馈过程使输出电压波形的边沿变得很陡。

利用上述特点不仅能将边沿变化缓慢的信号波形整形为边沿陡峭的矩形波，而且可将叠加在矩形脉冲高、低电平上的噪声有效地清除。

2. 单稳态触发器的工作特性具有如下的显著特点：

(1) 它有稳态和暂稳态两个不同的工作状态；

(2) 在外界触发脉冲作用下，它能从稳态转到暂稳态，在暂稳态维持一段时间以后，再自动返回稳态；

(3) 暂稳态维持时间的长短取决于电路本身的参数，与触发脉冲的宽度和幅度无关。

由于具备这些特点，单稳态触发器被广泛用于脉冲整形、延时（产生滞后于触发脉冲的输出脉冲）以及定时（产生固定时间宽度的脉冲信号）等。

3. 多谐振荡器是一种自激振荡器，在接通电源以后，不需要外加触发信号，便能自动地产生矩形脉冲。由于矩形脉冲中含有丰富的谐波成份，所以习惯上又把矩形波振荡器叫做多谐振荡器。

4. 锯齿波有锯齿波电压和锯齿波电流，前者主要用于静电偏转示波器中，后者主要用于磁偏转显像系统中。按其线性的变化方向，可分为正向锯齿波和负向锯齿波。

电压锯齿波的主要参数有扫描期 t_w ，回扫期 t_R ，休止期 t_0 、重复周期 T 、扫描幅度 U_m 等。

锯齿波电压发生器是利用电容的充放电来产生锯齿波电压的。简单锯齿波电路，由于充电电流不能恒定，波形的线性较差，只有在扫描时间 t_w 远小于电容的充电时间常数时，才具有较好的线性，但这将使电源利用率降低。

改善锯齿波线性的关键在于以恒定电流向电容充电，通常采用“恒流元件”和“补偿电势”两种方法，由前者得到恒流源锯齿波电压发生器，由自举式或电容负反馈式密勒积分电路锯齿波发生器。

5. 555 定时器是一种多用途的数字——模拟混合电路，利用它能极方便地构成

施密特触发器、单稳态触发器和多谐振荡器。

555 电路状态翻转与否，在于两个比较器的 \overline{TR} 和 TH 的输入电平的高低。其功能表见下表。

555 定时器功能表

阈值电压 TH	触发输入 \overline{TR}	复位 \overline{R}_D	放电管 V	输出 OUT
×	×	0	导通	0
$>2/3V_{DD}$	$>1/3V_{DD}$	1	导通	0
$<2/3V_{DD}$	$>1/3V_{DD}$	1	原态	不变
$<2/3V_{DD}$	$<1/3V_{DD}$	1	关断	1

4. 学时分配建议

本课程学时数为 160 课时具体安排建议如下：

序号	课程内容	学时数	备注
	模拟电路部分		
(一)	基本内容		
	绪论	1	
1	半导体器件	12	
2	放大电路基本知识	20	
3	直接耦合放大电路与运放	6	
4	放大电路中的负反馈	6	
5	集成运放的应用	8	
6	低频功率放大器	7	
7	直流稳压电源	8	
8	正弦波振荡电路	6	
	小计	74	
(二)	选学内容		
1	高频小信号调谐放大器	4	
2	高频功率放大器	4	
3	调幅与检波	6	
4	混频与倍频	4	
5	调频与鉴频	6	
	小计	24	
	脉冲数字电路部分		
1	脉冲的基础知识	6	

2	数制与逻辑代数	6	
3	逻辑门电路	8	
4	组合逻辑电路	8	
5	集成触发器	8	
6	时序逻辑电路	10	
7	脉冲波形的产生与变换	6	
	小计	52	
	实践部分		
(一)	基本实验		
1	二极管、三极管的测试	2	
2	常用电子仪器的使用	2	
3	放大电路的调测	6	
4	集成运放的应用	4	
5	直流稳压电源	2	
6	门电路的测试	2	
7	组合逻辑电路的测试	4	
8	时序逻辑电路的测试	4	
9	脉冲波形的产生	2	
	小计	30	
	选做实验		
1	调谐放大器	2	
2	调幅与检波	4	
3	调频与鉴频	4	
4	高频功率放大器	2	
	小计	12	
	合计	156 (36)	