

普通高等教育“十一五”规划教材
高等学校电工电子精品教材



*MoNi DianZi JiShu
ShiYong JiaoCheng*

模拟电子技术实用教程

(机电类)

主 编 罗桂娥

副主编 宋学瑞 张静秋 陈革辉

普通高等教育“十一五”规划教材
高等学校电工电子系列精品教材

模拟电子技术实用教程

(机电类)

主 编 罗桂娥
副主编 宋学瑞 张静秋 陈革辉

华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术实用教程(机电类)/罗桂娥 主编. —武汉:华中科技大学出版社, 2009年4月

ISBN 978-7-5609-5069-3

I. 模… II. 罗… III. 模拟电路-高等学校-教材 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 001556 号

模拟电子技术实用教程(机电类)

罗桂娥 主编

策划编辑:李 德

封面设计:潘 群

责任编辑:余 涛

责任监印:周治超

责任校对:朱 霞

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉众心图文激光照排中心

印 刷:武汉中远印务有限公司

开本:710 mm×1 000 mm 1/16

印张:15.25

字数:308 000

版次:2009年4月第1版

印次:2009年4月第1次印刷

定价:25.80元

ISBN 978-7-5609-5069-3/TN·134

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要



本书由中南大学老师编写。

“模拟电子技术实用教程”是工科院校机电专业的一门重要的基础课,内容包含半导体器件基础、放大电路基础、模拟集成电路基础、负反馈放大电路、信号的运算与处理电路、波形发生与信号转换电路、直流稳压电源、模拟可编程技术设计简介。通过本课程的学习,使学生掌握必须具备的基本理论、基本原理及基本分析方法,为今后学习专业技术和从事实际操作打下初步基础。本书可作为高等工科院校电工、电气、机电等专业的技术基础教材,也可作为高等职业技术学院的基础教材。

前 言

模拟电子技术是一门很重要的专业基础课,为了适应模拟电子技术的飞速发展,满足培养 21 世纪工程技术人才的需要,本教材在编写过程中,力求做到以培养电子技术应用能力为主线,体现针对性、实用性、先进性和适用性。

(1)加强针对性 在教材内容选择上,以满足偏电类专业应用型人才所需的知识、能力为前提,尽量展现现代电子技术的内容。

(2)增强实用性 编写过程中力图理论联系实际,学以致用。对于电路问题的分析,力求简化推导过程,突出物理概念的讲述,为学生分析问题和解决问题的能力创造条件。读者通过本课程学习不但能够学会定量计算的方法,而且能够掌握定性分析的技巧,为以后学习专业课程打下基础。

(3)突出教学内容先进性 以集成电路应用为主线,适当介绍分立元件应用电路,概念简明扼要,重在应用,并结合创新能力的培养。对元器件的处理,以外特性和功能介绍为主,适用为度。在保留电子技术传统内容的基础上,增加了较多新的电子器件介绍及应用的内容(如 EDA 技术、开关电容、开关电源、模拟可编程技术等)。

(4)每章附有小结、复习思考题,便于了解所学知识的掌握情况。习题中增加了具有实用价值和有利于增强分析问题、解决问题能力培养的题目。

本书主要内容包括常用半导体器件基础、基本放大电路基础、模拟集成电路基础、负反馈放大电路、信号运算与处理电路、波形发生与信号转换电路、直流稳压电源、模拟可编程技术设计简介等。罗桂娥教授担任本书主编,负责全书的统稿定稿。全书共分 8 章,其中,张静秋负责第 1 章、第 2 章的编写;陈革辉负责第 3 章、第 4 章的编写;罗桂娥负责第 5 章、第 6 章的编写;宋学瑞负责第 7 章、第 8 章和附录的编写。本书在编写过程中得到同仁的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

本书以满足机电类专业的需要为前提,本书亦适用于能源动力工程、冶金工程、信息物理、交通运输等专业和高等职业技术学院的基础教材,还可作为高等工科院校电工、电气类等专业的技术基础教材。

编者深知,模拟电子技术范围广、新知识多,尽管在编写过程中做了很大努力,但由于水平和视野的限制,加之时间仓促,书中难免存在缺点错误,恳请广大读者批评指正,并将意见反馈给我们,在此谨向热情的读者致以诚挚的谢意。

编 者

2009 年 1 月

目 录

第 1 章 半导体器件基础	(1)
1.1 电信号和电子系统	(1)
1.1.1 电信号	(1)
1.1.2 电子系统	(2)
1.2 放大电路基本知识	(4)
1.2.1 模拟信号放大	(4)
1.2.2 放大电路的主要技术指标	(4)
1.3 半导体材料及 PN 结	(8)
1.3.1 本征半导体	(8)
1.3.2 杂质半导体	(9)
1.3.3 PN 结	(10)
1.4 半导体二极管	(14)
1.4.1 二极管的结构类型	(14)
1.4.2 二极管的伏安特性	(15)
1.4.3 二极管的常用电路模型	(16)
1.4.4 二极管的主要参数	(17)
1.4.5 特殊二极管	(18)
1.4.6 二极管的应用	(19)
1.5 双极型晶体三极管	(21)
1.5.1 BJT 的结构及类型	(22)
1.5.2 三极管的电流放大作用	(22)
1.5.3 BJT 的特性曲线	(24)
1.5.4 三极管的主要参数	(25)
1.6 场效应管	(29)
1.6.1 绝缘栅型场效应管	(29)
1.6.2 场效应管的主要参数	(35)
1.7 复合管	(37)
本章小结	(39)
复习思考题	(40)
第 2 章 放大电路基础	(44)
2.1 概述	(44)

2.1.1	基本放大电路的分类	(44)
2.1.2	基本放大电路的组成	(45)
2.1.3	放大电路中的直流通路和交流通路	(46)
2.1.4	三极管的电路模型	(47)
2.2	基本放大电路的图解法分析	(50)
2.2.1	图解法静态分析	(50)
2.2.2	图解法动态分析	(51)
2.3	放大电路的等效电路法分析	(55)
2.4	放大电路静态工作点的稳定	(59)
2.4.1	温度对静态工作点的影响	(59)
2.4.2	稳定静态工作点的措施	(60)
2.5	共集放大电路和共基放大电路	(63)
2.5.1	共集电极基本放大电路	(63)
2.5.2	共基极基本放大电路	(65)
2.5.3	三种基本组态放大电路的比较	(66)
2.6	场效应管放大电路	(66)
2.6.1	场效应管的直流偏置电路及静态分析	(66)
2.6.2	FET 放大电路的动态分析	(68)
2.7	多级放大电路	(71)
2.7.1	多级放大电路的耦合方式及其电路组成	(71)
2.7.2	多级放大电路的分析	(73)
本章小结		(75)
复习思考题		(76)
第3章	模拟集成电路基础	(83)
3.1	概述	(83)
3.1.1	集成电路中的元器件特点	(83)
3.1.2	集成电路在结构形式上的特点	(84)
3.2	电流源电路	(84)
3.3	差动放大电路	(86)
3.3.1	工作原理	(86)
3.3.2	基本性能分析	(89)
3.3.3	差动放大电路的四种接法	(91)
3.4	功率放大电路	(93)
3.4.1	功率放大电路的特点和分类	(93)
3.4.2	OCL 功率放大电路	(95)
3.4.3	集成功率放大电路	(99)
3.5	F007 通用集成运放电路简介	(100)

3.6 集成运放的主要性能指标	(101)
3.7 理想运放及其特征分析	(103)
本章小结	(105)
复习思考题	(106)
第4章 负反馈放大电路	(109)
4.1 概述	(109)
4.2 反馈类型的判断	(110)
4.3 负反馈放大电路的方框图	(116)
4.3.1 负反馈放大电路的方框图及一般表达式	(116)
4.3.2 四种组态的方框图	(117)
4.4 负反馈对放大电路的影响	(118)
4.4.1 提高闭环放大倍数的稳定性	(118)
4.4.2 改善输入电阻和输出电阻	(118)
4.4.3 展宽通频带	(121)
4.4.4 减小非线性失真	(121)
4.4.5 负反馈对噪声、干扰和温漂的影响	(122)
4.4.6 放大电路中引入负反馈的一般原则	(123)
4.5 深度负反馈放大电路电压放大倍数的估算	(124)
4.5.1 深度负反馈的实质	(124)
4.5.2 深度负反馈条件下放大倍数的分析	(125)
本章小结	(127)
复习思考题	(127)
第5章 信号的运算与处理电路	(131)
5.1 概述	(131)
5.2 基本运算电路	(131)
5.2.1 比例运算电路	(131)
5.2.2 减法运算电路	(133)
5.2.3 加法(求和)运算电路	(133)
5.2.4 积分运算电路	(134)
5.3 模拟乘法器及其应用	(137)
5.3.1 模拟乘法器的基本特性及电路符号	(137)
5.3.2 模拟乘法器的几种典型应用电路	(137)
5.4 有源滤波电路	(139)
5.4.1 滤波电路的功能及分类	(139)
5.4.2 有源低通滤波器	(140)
5.4.3 有源高通滤波器	(142)
5.4.4 带通滤波器和带阻滤波器	(143)

5.5 预处理放大器	(146)
5.5.1 仪用放大器	(146)
5.5.2 电荷放大器	(147)
5.5.3 开关电容滤波器	(148)
本章小结	(149)
复习思考题	(150)
第6章 波形发生与信号转换电路	(154)
6.1 概述	(154)
6.2 正弦波振荡器的基本原理	(154)
6.2.1 正弦波振荡电路的基本概念	(154)
6.2.2 RC 正弦波振荡电路	(156)
6.2.3 LC 正弦波振荡电路	(160)
6.2.4 LC 石英晶体振荡器	(164)
6.3 电压比较器	(166)
6.3.1 简单比较器	(167)
6.3.2 窗口比较器	(169)
6.3.3 滞回比较器	(170)
6.4 非正弦波发生电路	(172)
6.4.1 非正弦波的产生机理	(172)
6.4.2 方波及矩形波发生电路	(173)
6.4.3 三角波及锯齿波发生电路	(175)
6.5 利用集成运放实现信号的转换	(176)
6.5.1 电压-电流转换电路	(176)
6.5.2 电流-电压转换电路	(176)
6.5.3 精密整流电路	(177)
本章小结	(177)
复习思考题	(178)
第7章 直流稳压电源	(183)
7.1 概述	(183)
7.2 单相桥式整流电路	(184)
7.3 滤波电路	(186)
7.3.1 电容滤波电路	(186)
7.3.2 电感滤波电路	(189)
7.4 串联型稳压电路	(190)
7.4.1 稳压电路的技术指标	(190)
7.4.2 串联反馈式稳压电路工作原理	(191)
7.4.3 输出电压调节范围	(192)

7.4.4 稳压电路的过载保护	(193)
7.5 集成稳压器及其应用	(195)
7.5.1 集成稳压器概述	(196)
7.5.2 集成稳压器的应用电路	(198)
7.6 开关稳压电路	(202)
7.6.1 开关型稳压电路的特点和分类	(202)
7.6.2 开关型稳压电路的组成和工作原理	(203)
本章小结	(205)
复习思考题	(206)
第8章 模拟可编程技术设计简介	(210)
8.1 概述	(210)
8.2 在系统可编程模拟电路的结构及原理	(210)
8.2.1 ispPAC10 的结构和原理	(211)
8.2.2 ispPAC10 基本放大单元(PAC 块)的工作原理	(211)
8.2.3 ispPAC10 的应用设计	(214)
8.2.4 ispPAC20 的结构及原理	(215)
复习思考题	(217)
附录 A EWB 的使用	(218)
A.1 电子工作台(EWB)概述	(218)
A.1.1 电子工作台(EWB)简述	(218)
A.1.2 EWB 的主窗口	(219)
A.1.3 EWB 操作菜单及使用方法	(219)
A.2 EWB 的元器件	(222)
A.2.1 使用 EWB 的元器件	(222)
A.2.2 元器件的放置、调整及连接	(223)
A.2.3 元器件的参数调整	(224)
A.2.4 EWB 的元器件库栏	(225)
A.3 EWB 的仪器	(226)
A.3.1 EWB 的仪器栏	(226)
A.3.2 模拟仪表	(226)
A.4 创建一个 EWB 电路	(226)
A.4.1 创建一个 EWB 电路	(226)
A.4.2 运用仪器观察实验过程	(229)
A.4.3 实验电路的保存和载入	(229)
A.4.4 子电路的应用	(229)

第 1 章 半导体器件基础

电子电路可以由半导体器件(二极管、晶体管和场效应管)、电阻、电容元件等连接而成的分立电路,也可以是将这些元器件制作在一块半导体基片上的集成电路。电子电路中产生、传输和处理的是电信号,而功能完整的电子电路称为电子系统。本章首先介绍电信号、电子系统、信号放大的概念及放大电路的性能指标;然后重点介绍半导体器件的特性、参数和电路模型及分析方法。

1.1 电信号和电子系统

1.1.1 电信号

电信号是代表一定信息的电压或电流信号。利用变换设备,语言、文字、图像等信息可以转换为随时间作相应变化的电压或电流信号,以便于传输和处理。

信号的分类方法有很多种,如连续和采样信号,周期和非周期信号,模拟和数字信号等。

1. 连续信号和采样信号

连续信号:在任意的时间点上都有确定的函数值的信号,如正弦波、矩形波、三角波和其他的任意连续波形,如图 1.1 所示。

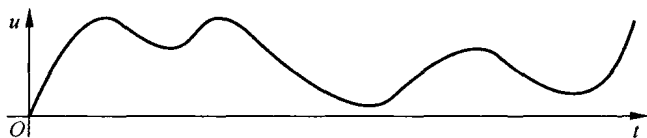


图 1.1 任意连续信号

采样信号:在固定的离散时间点上取值,幅值连续的信号。对实际物理系统中的连续信号,以一定的时间间隔进行采样,所得的数值点序列就是采样信号,如图 1.2 所示。

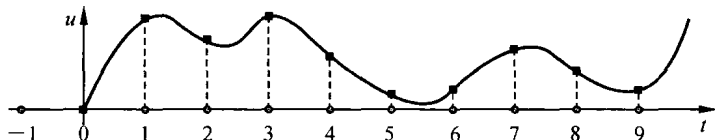


图 1.2 采样信号

2. 正弦信号和方波信号

正弦信号和方波信号均为周期信号,可以用函数式 $f(t) = f(t + nT)$ 来表达。

(1) 正弦信号经常作为标准信号来对模拟电子电路进行测试,其数学表达式为

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \theta) \quad (1.1)$$

式中, U_m 是正弦波的幅值; ω 为角频率; θ 为初相角,其波形图如图 1.3 所示。

(2) 方波信号的时间函数式为

$$u(t) = \begin{cases} U_s & nT \leq t < (n+1) \frac{T}{2} \\ 0 & (n+1) \frac{T}{2} \leq t < (n+1) T \end{cases} \quad (1.2)$$

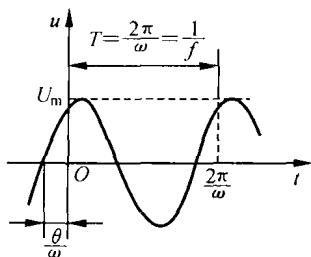


图 1.3 正弦波波形图

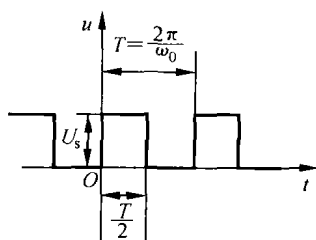


图 1.4 方波的波形图

方波波形图如图 1.4 所示。对于任意的周期函数,只要满足狄利克雷条件就可以展开为傅里叶级数,方波的傅里叶级数表达式为

$$u(t) = \frac{U_s}{2} + \frac{2U_s}{\pi} (\sin\omega_0 t + \frac{1}{3}\sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5}\sin 5\omega_0 t + \dots) \quad (1.3)$$

式中, $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$, $\frac{U_s}{2}$ 为直流分量,上式的后续项分别为基波和各次谐波分量。

3. 模拟信号和数字信号

模拟信号是指幅值和时间均连续变化的信号,如正弦波、图 1.1 所示的任意连续信号等。我们周围大多数物理量都是模拟信号,如收音机接收、放大和输出的电信号,又如温度、压力等非电量通过传感器以后得到的缓慢变化的电信号等。实现对模拟信号进行放大、变换、产生的电路是模拟电路。

数字信号是指在固定的离散时间点上取规定值,即幅值和时间均不连续变化的信号。例如,数字计算机中运行的高电平和低电平信号,分别代表二元编码中的 1 和 0 两个数码。实现输入与输出信号之间一定逻辑关系的电路是数字电路,也称为逻辑电路。

1.1.2 电子系统

电子系统是由若干相互关联的单元电子电路组成,用来实现电信号的产生、传输或处理的电路整体。由于大规模集成电路和模拟-数字混合集成电路的出现,在单个芯片上集成许多不同类型的电路而自成一个系统,称为单片电子系统(system on a chip)。这已经成为现代电子系统设计的潮流。

常见的典型电子系统有收音机、电视机等。图 1.5 所示是超外差式无线电收音机的原理框图。收音机的天线接收无线电台的射频载波信号,经过混频级得到一个固定频率

的中频载波信号,然后经过中频放大级对中频载波信号的电压幅度、电流幅度进行放大,再经过检波级提取音频信号,经过功率放大级获得足够的能量后推动扬声器发声。

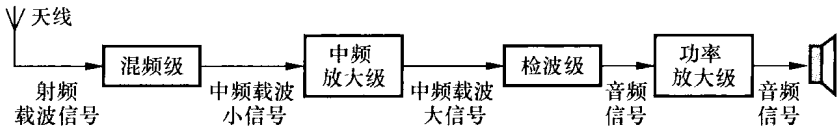


图 1.5 超外差式无线电收音机的原理框图

图 1.6 所示是电视信号的产生、发射和接收过程示意图。摄像机将景物转换为图像信号,同时话筒将声音转换为伴音信号,这两种电信号合成为全电视信号后,在电视台的发射机中,经调制和功率放大后从发射天线发射出去。电视机的天线接收到经过调制的全电视信号后,将其解调并还原为图像和伴音信号,通过显像管和扬声器将画面和声音展现在观众面前。

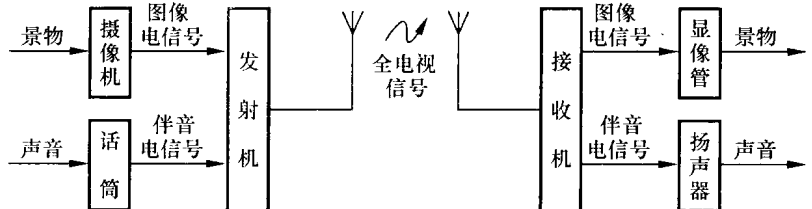


图 1.6 电视信号的产生、发射和接收过程示意图

在很多情况下,电子系统必须与其他物理系统结合,从而构成完整的实用系统。例如,计算机系统中有光驱、软驱等精密机械系统。在光盘上记录的声音和图像信号是通过激光传感系统转换为电信号的,而光盘的同步旋转和激光探头的移动则是通过电子系统控制的精密机械系统来实现的。

工业生产中的许多生产设备,都是由电子、机械、动力、热工、激光等多种物理系统组合而成,其原理框图如图 1.7 所示。其中的各个电子系统通过通信控制系统与工业控制计算机相连,一方面使生产者通过计算机键盘和屏幕实现人 - 机对话,完成对生产过程的监视与调控;另一方面,在整个控制系统中,完成复杂的信号处理和驱动机构的任务。物理系统一方面完成对物理量的检测与传感,给电子系统输送电信号;另一方面,从电子系统发出的控制信号最终要使生产机械的驱动机构动作。

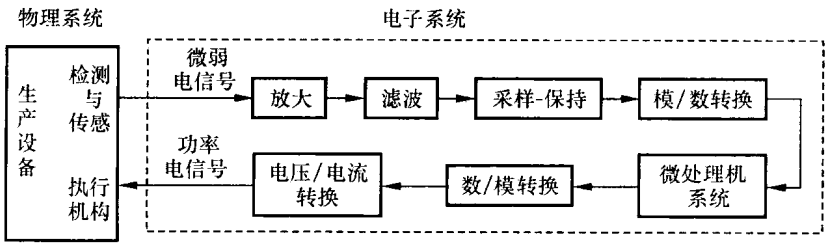


图 1.7 一般生产系统原理框图

1.2 放大电路基本知识

一个需要被放大的电信号(如从天线或传感器获得的信号),其电压(或电流)的幅度通常是毫伏(或毫安)、微伏(或微安)的数量级或更小,这个信号必须被放大以后才可能推动负载(如喇叭、指示仪表或执行机构)。信号放大,是指信号电压(或电流)的幅度得到了较大提高,而随时间变化的规律要与放大前严格一致。实现放大功能的电子电路称为放大电路(或称为放大器)。放大电路是模拟电子系统的基本组成部分。

1.2.1 模拟信号放大

放大概念示意图如图 1.8 所示。在实际放大电路中,输入电压 u_i 是由信号源在放大器输入端产生的。信号源是被放大信号的电路模型,一般由源电压 u_s 及其内阻 R_s 串联表示。例如,话筒是一种将语音信号转换为电信号的装置,话筒输出的电路模型就是一个信号源。

接收放大器输出信号的装置称为放大器的负载,其电路模型一般为电阻,也称为负载电阻,用 R_L 表示。例如,音频放大器的输出信号最终要加在扬声器上使其发出声音,此时扬声器就是音频放大器的负载。

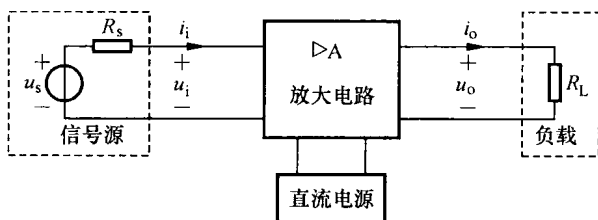


图 1.8 放大概念示意图

1.2.2 放大电路的主要技术指标

放大电路的放大能力,需要有一个性能指标体系来表征。测试技术指标的电路结构示意图仍可用图 1.8 表示。这时,图中的信号源是一个正弦测试信号,然后测量电路中的其他有关电量。下面简要介绍放大电路的主要技术指标。

1. 放大倍数

放大倍数是描述一个放大电路放大电压信号、电流信号能力的指标,也称为增益。根据放大电路输入信号的条件和对输出信号的要求,放大器可分为四种类型:电压、电流、互阻和互导放大器。相应地可以定义四种放大倍数。因为放大电路测试信号为正弦信号,所以通常用正弦量定义放大倍数。

(1) 电压放大倍数:其定义式为

$$A_u = \dot{U}_o / \dot{U}_i \quad (1.4)$$

它体现了放大器对输入信号电压的放大能力。

(2) 电流放大倍数:其定义式为

$$A_i = I_o / I_i \quad (1.5)$$

它体现了放大器对输入信号电流的放大能力。

(3) 互阻放大倍数:其定义式为

$$A_r = \dot{U}_o / I_i \quad (1.6)$$

它体现了放大器对输入信号电流的转换能力。

(4) 互导放大倍数:其定义式为

$$A_g = I_o / \dot{U}_i \quad (1.7)$$

它体现了放大器对输入信号电压的转换能力。

另外,不论哪种类型的放大器都具有功率放大倍数:其定义式为

$$A_p = P_o / P_i = \frac{\dot{U}_o I_o}{\dot{U}_i I_i} \quad (1.8)$$

它综合体现了放大器对输入信号的放大与转换能力。

在工程实践中,放大倍数的对数方式表示得到了广泛的应用,具体表示如下。

$$(1) \text{ 电压增益: } 20\lg A_u (\text{dB}) \quad (1.9)$$

$$(2) \text{ 电流增益: } 20\lg A_i (\text{dB}) \quad (1.10)$$

$$(3) \text{ 互阻增益: } 20\lg A_r (\text{dB}) \quad (1.11)$$

$$(4) \text{ 互导增益: } 20\lg A_g (\text{dB}) \quad (1.12)$$

$$(5) \text{ 功率增益: } 10\lg A_u A_i (\text{dB})$$

2. 输入电阻 R_i

图 1.9 所示是放大器输入端的电路结构示意图。放大电路的输入电阻是指从放大电路输入端向右看的等效电阻,即对信号源来说,放大器可等效为一个电阻 R_i 。

放大电路的输入电阻定义式为

$$R_i = \dot{U}_i / I_i \quad (1.13)$$

它表征放大电路从信号源获取电压信号或电流信号的能力。

(1) 当信号源为电压源时,如图 1.9(a) 所示, R_i 与 R_s 相比越大越好, R_i 越大,则放大器获得的输入电压 $\dot{U}_i$ 越接近于 $\dot{U}_s$ 。

(2) 当信号源为电流源时,如图 1.9(b) 所示, R_i 与 R_s 相比越小越好, R_i 越小,则放大器从信号源获得的输入电流 I_i 越接近于 I_s 。

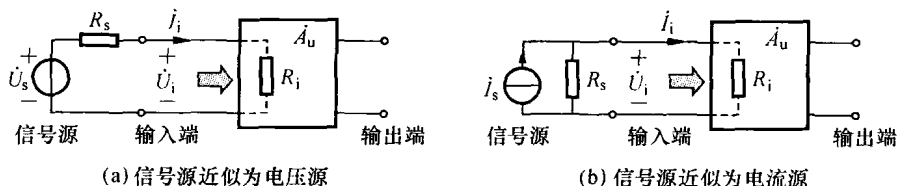


图 1.9 放大器输入端的电路结构示意图

3. 输出电阻 R_o

图 1.10(a) 所示是一个放大器输出端的电路结构示意图。放大电路的输出电阻是指从放大电路输出端往左看的等效电阻,即对负载而言,电路的其余部分可以等效为一个信号源,该信号源的内阻就是放大器的输出电阻。等效后的电路结构示意图如图 1.10(b) 所示。 $\dot{U}_s'$ 是放大器输出端开路时的开路电压(即 R_L 以左等效信号源的电压值), R_o 是放大电路的输出电阻。 R_o 表明放大电路带负载的能力, R_o 越小放大电路带负载的能力越强,输出电压变化越小。

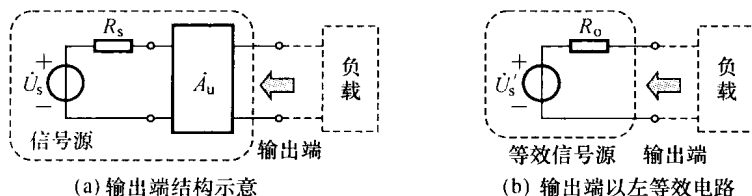


图 1.10 电压放大器输出端的电路结构示意图

理论计算时,放大电路输出电阻通常用外加电压法进行,即将放大器的负载开路、信号源置零(电压源短路、电流源开路)并保留其内阻后,放大电路的输出端外加电压源 $\dot{U}'_o$ 与流入电流 $\dot{I}'_o$ 之比,就是放大电路的输出电阻。定义式为

$$R_o = \left. \frac{\dot{U}'_o}{\dot{I}'_o} \right|_{R_L = \infty, \dot{U}_s = 0, R_s \text{ 保留}} \quad (1.14)$$

4. 通频带

放大电路的放大倍数是随着输入信号频率的变化而变化的,称为频率特性,通常用 $A(j\omega)$ 表示。放大倍数的幅值与输入信号频率的函数关系称为幅频特性,通常用 $A(f)$ 表示。放大倍数的相位与输入信号频率的函数关系称为相频特性,用 $\varphi(f)$ 表示。放大倍

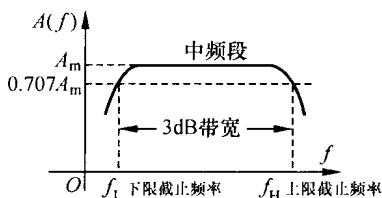


图 1.11 交流放大电路的幅频特性曲线

数随输入信号频率的变化而变化有两个主要原因:一是由于放大器件本身存在电容效应;二是因为有些放大电路中接有电抗性元件。一般情况下,当频率升高或降低时,放大倍数的幅值都将减小,而在中间一段频率范围内(中频段),因各种电抗性元件的作用和放大器件本身的电容效应可以忽略,故放大倍数的幅值基本不变。以交流电压放大器为例,其幅频特性如图 1.11 所示。

当 $A(f)$ 下降到中频电压放大倍数 A_m 的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 时,对应的频率 f_L 称为下限截止频率, f_H 称为上限截止频率,即

$$A(f_L) = A(f_H) = \frac{A_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707 A_m \quad (1.15)$$

通常将放大倍数在高频和低频段分别下降至中频段放大倍数的 0.707 倍时所包括

的频率范围,定义为放大电路的通频带,即

$$f_{BW} = f_H - f_L \quad (1.16)$$

这种现象说明,一个放大电路并不是在任何频率下都可以正常工作,放大电路的增益 $A(f)$ 是频率的函数。

5. 最大不失真输出幅度

最大不失真输出幅度是指在输出波形没有明显非线性失真的情况下,放大电路能够提供给负载的最大输出电压(或最大输出电流),一般指最大不失真输出电压的有效值,以 U_{om} 表示。

6. 最大输出功率 P_{Om} 及效率 η

放大电路的最大输出功率是指,在输出信号没有明显失真的情况下,放大电路所能输出的最大功率。如果超过器件的功率要求,将会造成器件的损坏。

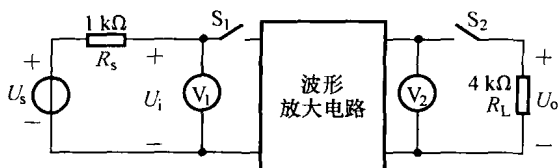
放大的本质是能量的控制,负载上得到的输出功率实际上是利用放大器件对能量的控制作用,将直流电源的功率转换成交流信号的功率而得到的,因此就存在一个功率转换的效率问题。放大电路的效率 η 定义为,最大输出功率 P_{Om} 与直流电源消耗的功率 P_V 之比,即

$$\eta = \frac{P_{Om}}{P_V} \times 100\% \quad (1.17)$$

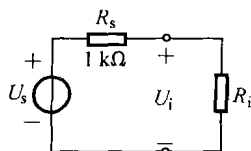
例 1.1 图 1.12(a) 所示电路可用来测量放大器的输入、输出电阻。

(1) 当开关 S_1 闭合时,若电压表 V_1 的读数为 50 mV,而 S_1 打开时, V_1 的读数为 100 mV,试求输入电阻 R_i 。

(2) 当开关 S_2 闭合时,电压表 V_2 的读数为 1 mV,而 S_2 打开时, V_2 的读数为 2 mV,试求输出电阻 R_o 。

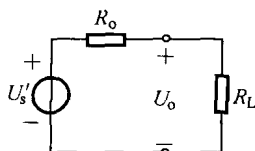


(a) 放大器的输入、输出电阻测量电路



信号源

(b) 求输入电阻等效电路



等效信号源

(c) 求输出电阻等效电路

图 1.12 例 1.1 电路

解 (1) 求放大电路的输入电阻。

当 S_1 闭合时 V_1 的读数为放大电路的输入电压 U_i , 当 S_1 断开时 V_1 的读数为信号源