

新世纪电子信息与电气类系列规划教材

XINSHIJI

DIANZI XINXI YU DIANQILEI XILIE GUIHUA JIAOCAI

模拟 电子电路

主编◎黄丽薇 王迷迷



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

新世纪电子信息与电气类系列规划教材

模拟电子电路

主 编 黄丽薇 王迷迷
副主编 陆清茹 燕 洁 张照芳
参 编 史先强 陈慧琴 陈玉林
辛海燕 张立珍 郑 英



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

· 南京 ·

内 容 简 介

本教材是东南大学成贤学院 2014 年教改项目“面向应用型人才培养的理论教学与微项目实践融合的《模拟电子电路》教学改革研究”和 2015 年院级规划教材项目“模拟电子电路”的研究成果。

教材定位于应用型本科院校电子信息类、自动化类、电气工程类专业基础课程《模拟电子电路》教学使用,按照江苏省教育厅对应用型本科院校培养具有“知识应用能力、实践动手能力、职业岗位能力、创新创业能力的高素质应用型人才”目标的要求编写。

内容包括:绪论、集成运算放大器的基本电路结构及其应用、半导体基础与二极管、双极型晶体管及其放大电路、场效应管及其基本放大电路、组合放大电路、放大电路中的反馈、信号处理电路、波形的产生与变化、功率放大电路、直流稳压源。

教材可在“模拟电子电路”课程教学中使用,所涉专业有电子信息工程、自动化、电子科学、电力系统及其自动化(电力系统方向、继电保护方向、输配电方向)。机械工程系的机电一体化专业和化工系的化工自动化专业,也可以根据专业需要和学时安排,针对性的使用本教材。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子电路 / 黄丽薇,王迷迷主编. —南京:

东南大学出版社,2016.12

ISBN 978-7-5641-6864-3

I. ①模… II. ①黄… ②王… III. ①模拟电路-高等学校-教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 285312 号

模拟电子电路

出版发行 东南大学出版社

出版人 江建中

社 址 南京市四牌楼 2 号

邮 编 210096

经 销 全国各地新华书店

印 刷 大丰市科星印刷有限责任公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 13.25

字 数 330 千字

版 次 2016 年 12 月第 1 版

印 次 2016 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5641-6864-3

印 数 1—2000 册

定 价 40.00 元

(本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830)

前 言

本书基于应用型人才培养需要编写,有以下几个方面的特色:

(1) 在教材理念上,紧扣应用型本科人才培养目标,强化模电知识的应用,着重培养学生的知识应用和动手实践能力。

(2) 在教材内容上,梳理知识脉络,考虑后续专业方向课程的需要,筛选知识点,弱化理论性强实践性弱的知识,强化与应用型人才能力培养紧密关联的知识点,注重理论与应用结合。

(3) 在教材组织上,每章按知识点到习题、原理到应用、基础到综合方式组织。

本书由东南大学成贤学院模电课程组编写,黄丽薇、王迷迷担任主编,陆清茹、燕洁、张照芳担任副主编。课程组共同制定了本书的编写大纲,规划了11章内容。其中,黄丽薇对全书进行了统稿,并编写了1、3、6、8、10章,王迷迷编写了2、4、7章,陆清茹编写了第5章,燕洁编写了第9章,张照芳编写了第11章。史先强、辛海燕、陈慧琴完成了部分章节的校阅工作,陈玉林、张立珍、郑英从各专业需求角度给出了建议和支持,徐玉菁、曹诚伟、吴春红为本书提供了部分案例。在撰写本书期间,得到了东南大学成贤学院和东南大学出版社的支持和帮助,在此深表感谢。

本书可作为应用型本科院校电子信息类、自动化类、电气类、光电类相关专业的教材和教学参考书,也可作为工程技术人员和感兴趣读者的自学读物。

由于时间仓促,书中难免有疏漏之处,请读者理解。如果在学习或教学中遇到问题,可发邮件 liwei@cxy.seu.edu.cn 与我们交流。

编者

2016年8月

目 录

1	绪论	(1)
1.1	电信号	(1)
1.2	电子系统	(2)
	习题1	(2)
2	集成运算放大器的基本电路结构及其应用	(3)
2.1	放大电路的基本知识	(3)
2.1.1	放大电路的组成及放大的本质	(3)
2.1.2	放大电路的主要性能指标	(4)
2.2	集成运算放大器概述	(7)
2.2.1	器件的基本工作特性	(8)
2.2.2	集成运算放大器的符号及电压传输特性	(8)
2.3	线性运算放大电路	(10)
2.3.1	反相比例放大器电路	(10)
2.3.2	同相比例放大器电路	(11)
2.3.3	差分放大器电路	(11)
2.3.4	加法放大器电路	(12)
2.3.5	积分运算电路	(15)
2.3.6	微分运算电路	(16)
2.4	非线性运算放大电路	(16)
2.4.1	集成运放非线性区的电压传输特性	(16)
2.4.2	过零比较器	(17)
2.4.3	非过零比较器(单限电压比较器)	(18)
2.4.4	滞回比较器	(19)
2.4.5	窗口比较器	(21)
2.5	电路应用	(21)
2.6	微项目演练	(22)
	习题2	(24)
3	半导体基础与二极管	(27)
3.1	半导体基础知识	(27)

3.1.1	本征半导体	(27)
3.1.2	杂质半导体	(28)
3.1.3	PN结的形成及其单向导电性	(29)
3.2	二极管	(32)
3.2.1	二极管的结构	(32)
3.2.2	二极管的名称	(33)
3.2.3	二极管的伏安特性	(33)
3.2.4	二极管的参数	(34)
3.2.5	二极管的电路模型	(34)
3.2.6	特殊二极管	(36)
3.3	微项目演练	(39)
	习题3	(40)
4	双极型晶体管及其放大电路	(42)
4.1	双极型晶体管概述	(42)
4.1.1	双极型晶体管的封装	(42)
4.1.2	晶体管的结构与类型	(42)
4.1.3	晶体管电流	(43)
4.2	晶体管的共射特性曲线	(44)
4.3	放大电路的分析方法	(47)
4.3.1	直流通路和交流通路	(47)
4.3.2	放大电路的微变等效电路分析法	(48)
4.3.3	共射极放大器	(50)
4.3.4	共集电极放大器	(51)
4.3.5	共基极放大器	(52)
4.4	晶体管放大电路三种组态的比较	(54)
4.5	电路应用	(55)
4.6	微项目演练	(58)
	习题4	(58)
5	场效应管及其基本放大电路	(62)
5.1	场效应管(FET)	(62)
5.1.1	结型场效应管(JFET)	(62)
5.1.2	绝缘栅场效应管(MOSFET)	(68)
5.1.3	场效应管的主要参数	(71)
5.1.4	场效应管与三极管的比较	(71)

5.2 场效应管基本放大电路	(72)
5.2.1 场效应管放大电路静态工作点的设置	(72)
5.2.2 场效应管交流等效模型	(74)
5.2.3 共源放大电路的动态分析	(74)
5.2.4 共漏放大电路的动态分析	(76)
5.3 微项目演练	(77)
习题 5	(78)
6 组合放大电路	(82)
6.1 多级放大电路	(82)
6.1.1 耦合方式	(82)
6.1.2 多级放大电路的分析	(83)
6.2 差动放大器	(85)
6.2.1 多级放大器直接耦合的问题	(85)
6.2.2 基本差动放大器	(85)
6.2.3 恒流源式差动放大器	(91)
6.3 恒流源电路	(92)
6.3.1 镜像电流源	(92)
6.3.2 改进型镜像电流源	(93)
6.3.3 比例电流源	(93)
6.3.4 微电流源	(93)
6.3.5 多路电流源	(94)
6.3.6 有源负载	(95)
6.4 集成运算放大器	(96)
6.5 微项目演练	(98)
习题 6	(99)
7 放大电路中的反馈	(102)
7.1 反馈的概述	(102)
7.1.1 反馈的基本概念	(102)
7.1.2 反馈的分类及判断	(102)
7.2 反馈的四种类型	(104)
7.3 深度负反馈条件下增益的估算	(106)
7.3.1 深度负反馈的实质	(107)
7.3.2 反馈网络的分析	(107)
7.3.3 基于反馈系数的放大倍数分析	(108)

7.4	负反馈对放大电路性能的影响	(110)
7.4.1	稳定放大倍数	(110)
7.4.2	改变输入电阻和输出电阻	(111)
7.4.3	展宽频带	(114)
7.4.4	减小非线性失真	(115)
7.5	放大电路中引入负反馈的一般原则	(117)
7.6	电路应用	(118)
7.7	微项目演练	(119)
	习题7	(120)
8	信号处理电路	(124)
8.1	对数运算电路和指数运算电路	(124)
8.2	模拟乘法器	(125)
8.2.1	变跨导型模拟乘法器的基本原理	(126)
8.2.2	双平衡四象限变跨导型模拟乘法器	(126)
8.2.3	集成模拟乘法器	(126)
8.2.4	模拟乘法器在运算电路中的应用	(128)
8.3	滤波器	(130)
8.3.1	滤波器基础	(130)
8.3.2	各种滤波器	(133)
8.3.3	三种类型的有源滤波器	(141)
8.3.4	状态变量型滤波器	(143)
8.4	微项目演练	(144)
	习题8	(146)
9	波形的产生与变换	(148)
9.1	正弦波振荡电路	(148)
9.1.1	正弦波振荡电路的基本原理	(148)
9.1.2	RC正弦波振荡电路	(149)
9.1.3	LC正弦波振荡电路	(152)
9.2	石英晶体振荡器	(155)
9.3	非正弦波信号产生电路	(156)
9.3.1	方波发生器	(156)
9.3.2	锯齿波发生器	(156)
9.4	微项目演练	(157)
	习题9	(158)

10	功率放大电路	(161)
10.1	功率放大电路概述	(161)
10.2	功率放大电路	(163)
10.2.1	甲类功率放大电路	(163)
10.2.2	乙类互补对称推挽功放	(166)
10.2.3	甲乙类功放	(169)
10.2.4	OTL 乙类功放	(170)
10.3	集成功率放大器	(171)
10.4	复合管	(173)
10.5	微项目演练	(175)
	习题 10	(176)
11	直流稳压源	(179)
11.1	单相整流电路	(179)
11.1.1	单相半波整流电路	(180)
11.1.2	单相桥式整流电路	(181)
11.2	滤波电路	(182)
11.2.1	电容滤波电路	(183)
11.2.2	电感滤波电路及复式滤波电路	(185)
11.3	稳压电路	(186)
11.3.1	串联反馈式稳压电路	(187)
11.3.2	三端集成稳压电路	(189)
11.4	开关式稳压电路	(193)
11.4.1	串联型开关稳压电路	(193)
11.4.2	并联型开关稳压电路	(195)
11.4.3	集成开关稳压器	(196)
11.5	微项目演练	(196)
	习题 11	(198)
	参考文献	(201)

1.1 电信号

1) 电信号

电子系统中的信号为电信号。电信号一般指随时间变化的电压或电流,常表示为时间 t 的函数。

2) 模拟信号与数字信号

时间和数值上均连续的信号称为模拟信号。自然界和生活中大多数物理量,如温度、压力、流量、声音等,转换成的信号均为模拟信号。

时间和数值上均离散的信号称为数字信号。电压或电流的变化在时间上不连续,取值上也不连续。

通过电子电路或专用模/数转换器,模拟信号和数字信号可以实现相互转换。

图 1.1.1 为模拟信号与数字信号。

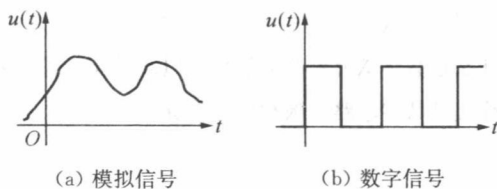


图 1.1.1 模拟信号与数字信号

3) 模拟电路与数字电路

模拟电路是对模拟信号进行处理的电路。

常见的模拟电路有放大电路、滤波电路、运算电路、信号转换电路、信号发生电路、直流电源等等。

数字电路是对数字信号进行处理的电路。

根据电路的结构特点及其对输入信号响应规则的不同,数字电路可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路。

1.2 电子系统

电子系统涉及信号提取、预处理、加工、驱动与执行。信号的提取可用传感器,实际系统中,传感器提取的信号数值较小,噪声很大,易受干扰,因此需要进行预处理,进行隔离、滤波等操作,提取有用部分。当信号足够大后,再进行运算、转换等操作。还需经过功率放大电路,以驱动负载。信号处理过程中,可能需要经过模/数转换电路将模拟信号变为数字信号,便于用计算机或微处理器处理,再经数模转换电路将处理后的数字信号转为模拟信号。

图 1.1.2 为某恒温系统的示意框图。

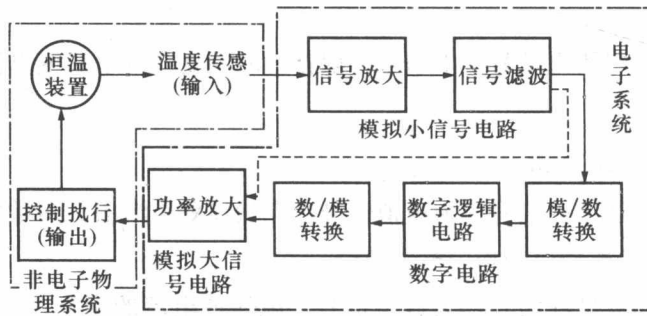


图 1.1.2 电子系统示例

习题 1

- 1.1 什么是模拟信号? 什么是数字信号? 两种信号可以通过什么元件进行转换?
- 1.2 什么是模拟电路? 什么是数字电路? 请举例说明。

2.1 放大电路的基本知识

放大电路是电子系统中最常见的信号处理电路之一,其作用是将输入的微弱信号不失真地放大到所需要的数值。放大的前提是保证输出信号不失真,即只有在输出信号不失真的情况下放大才有意义。本节将讨论放大的基本概念及放大电路的主要性能指标。

2.1.1 放大电路的组成及放大的本质

1) 放大电路的组成

如图 2.1.1 所示为放大电路的结构框图,其组成主要包括功率控制电路、偏置电路和耦合电路等,其中 \dot{U}_s 为待放大的微弱交流信号源; R_s 为信号源的内阻,通常以正弦信号作为放大电路的测试信号; \dot{U}_i 是放大电路的输入信号; \dot{U}_o 是放大电路的输出信号; R_L 为负载电阻。在放大电路中,功率控制电路是构成放大电路的核心,它通常由双极型晶体管 BJT 或场效应管 FET 等有源器件构成,利用输入信号(电压或电流)对 BJT 或 FET 的输出控制作用,使输出信号的电压或电流得到放大。

要保证待放大的交流输入信号 \dot{U}_s 能够顺利地加至放大电路的输入端,同时还要保证被放大后的交流信号能够顺利地输出至负载,以实现信号的放大,需要由输入、输出耦合电路完成。

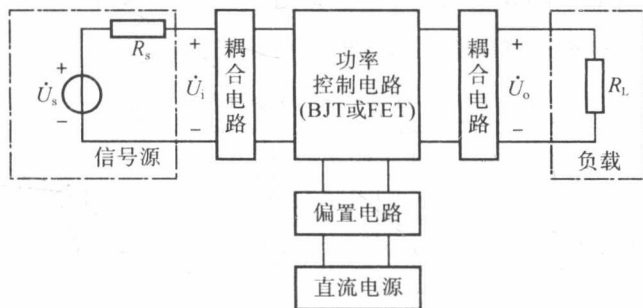


图 2.1.1 放大电路结构图

2) 放大的本质

放大电路的基本功能是将微弱的电信号加以放大,根据能量守恒原理,能量只能转换,

不能凭空产生,当然也不能被放大。信号放大后所增加的能量,实际上是由放大电路的直流供电电源中的能量转换而来的。放大是对变化量而言的,放大的本质实际上是能量的控制和转换。即在交流输入信号的控制下,将直流电源供给的能量转化为按输入信号变化的交流能量输出给负载,使负载获得的能量大于输入信号的能量。因此,放大的本质是功率的放大,即负载上总是获得比输入信号大得多的电压或电流,有时兼而有之,BJT 晶体管或 FET 场效应管则是能够控制能量转换的有源元件。

2.1.2 放大电路的主要性能指标

放大电路的性能指标是衡量电路性能优劣的标准,并决定其适用范围。这里主要讨论放大电路的输入阻抗、输出阻抗、增益、频率响应和非线性失真等几项指标,它们主要是针对放大能力和失真度两方面要求提出的。

小信号放大电路是线性有源二端口网络,它的组成框图如图 2.1.2 所示,在正弦稳态分析中的信号电压、电流均用相量表示。图中 \dot{U}_s 、 R_s 代表电压源的电压和内阻,信号源也可采用电流源(\dot{I}_s 、 R_s)表示, \dot{U}_i 、 \dot{I}_i 为输入电压和电流, \dot{U}_o 、 \dot{I}_o 为输出电压和电流,它们的正方向符合二端口网络的一般约定, R_L 是放大电路的负载电阻。

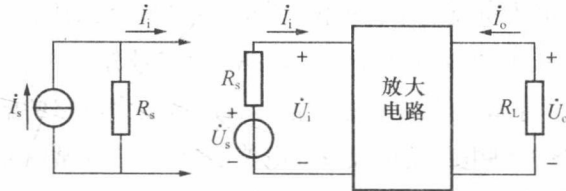


图 2.1.2 小信号放大电路的组成框图

1) 输入阻抗和输出阻抗

放大电路的输入端要接信号源,在多级放大电路中,有时该信号源可能是前级放大电路,其输出阻抗即是等效信号源的内阻抗;输出端要接负载,有时该负载可能是下一级放大电路的输入阻抗,其等效电路如图 2.1.3 所示。因此,输入阻抗和输出阻抗是考虑放大电路与信号源、负载或放大电路级联时相互影响的重要参数。

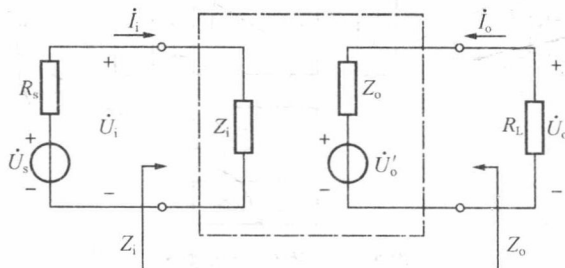


图 2.1.3 放大电路的输入阻抗

(1) 输入阻抗

放大电路的输入阻抗是从放大电路输入端看进去的等效阻抗,用 Z_i 来表示,如图 2.1.3 所示,即

$$Z_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i} \quad (2.1.1)$$

若放大电路工作在中频区,可不考虑电抗元件的作用,放大电路为纯阻性网络,可用输入电阻 R_i 来代替输入阻抗 Z_i ,即

$$R_i = \frac{\dot{U}_i}{\dot{I}_i} \quad (2.1.2)$$

则放大电路的输入电压为:

$$\dot{U}_i = \frac{R_i}{R_i + R_s} \dot{U}_s \quad (2.1.3)$$

R_i 越大,表明放大电路从信号源索取的电流越小, \dot{U}_i 越接近信号源电压值,信号源电压在内阻 R_s 上的损失就越小,所以 R_i 体现了放大电路对信号源电压的衰减程度。

(2) 输出阻抗

对负载电阻 R_L 而言,放大电路的输出即是它的信号源,可用戴维南定理将其等效为一个含有内阻抗的电压源,也可用诺顿定理等效为一个含有内阻抗的电流源,如图 2.1.3 所示。等效电压源或电流源的内阻抗 Z_o 即为放大电路的输出阻抗,所以输出阻抗 Z_o 即是从放大电路输出端所得的等效阻抗。

同样,若放大电路工作在中频区,可用输出电阻 R_o 代替输出阻抗 Z_o 。

由图 2.1.3 可得:

$$\dot{U}_o = \frac{R_L}{R_L + R_o} \dot{U}'_o \quad (2.1.4)$$

式(2.1.4)表明,放大电路带负载时的输出电压 \dot{U}_o 要比空载($R_L = \infty$)时的输出电压 \dot{U}'_o 有所下降, R_o 越小,带负载前后输出电压相差越小,电路带负载能力越强,所以 R_o 的大小表示电路带负载的能力。

2) 增益

增益又称放大倍数,用 \dot{A} 表示,定义为放大电路输出量与输入量的比值,是衡量放大电路放大能力的指标。

根据输出量和输入量的不同,可有四种类型的放大电路,即电压放大电路、电流放大电路、互阻放大电路和互导放大电路,它们相应的增益分别为电压增益 $\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i}$ 、电流增益 $\dot{A}_i = \frac{\dot{I}_o}{\dot{I}_i}$ 、互阻增益 $\dot{A}_r = \frac{\dot{U}_o}{\dot{I}_i}$ 和互导增益 $\dot{A}_g = \frac{\dot{I}_o}{\dot{U}_i}$,其中, \dot{A}_u 和 \dot{A}_i 为无量纲的数值,而 \dot{A}_r 的单位是欧姆(Ω), \dot{A}_g 的单位为西门子(S)。

本章重点研究放大电路的电压放大倍数 \dot{A}_u ,有时也需要考虑放大电路直接对信号源 \dot{U}_s

的放大倍数,后者称为源电压增益 $\dot{A}_{us} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s}$,可推得:

$$\dot{A}_{us} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_s} = \frac{\dot{U}_o \dot{U}_i}{\dot{U}_i \dot{U}_s} = \frac{R_i}{R_i + R_s} \dot{A}_u \quad (2.1.5)$$

同样可以推测源电流增益为:

$$\dot{A}_{is} = \frac{\dot{I}_o}{\dot{I}_s} = \frac{\dot{I}_o \dot{I}_i}{\dot{I}_i \dot{I}_s} = \frac{R_s}{R_i + R_s} \dot{A}_i \quad (2.1.6)$$

四种类型放大电路的主要区别是对输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 的要求不同。

在输入端,为了将信号尽可能多地送至放大电路的输入端,且在 R_s 变化时保持输入信号基本不变,则当输入量是电压时,要求 $R_i \gg R_s$,即所谓恒流激励;当输入量是电流时,要求 $R_i \ll R_s$,即所谓恒压激励。

3) 频率响应

一般情况下,放大电路只适合放大某一频段的信号。由于电路中电容和晶体管极间电容的影响,当输入信号频率较高或较低时,增益的幅值会下降并产生附加相移,如图 2.1.4(a)所示为一种典型增益的幅值与信号频率的关系曲线,称为幅频特性曲线;如图 2.1.4(b)所示为增益的相位与信号频率的关系曲线,称为相频特性曲线。在中频区,增益的大小和相位基本不随频率变化,分别用 A_{um} 和 φ_m 表示;在高频区和低频区,电压增益下降,相位亦随频率变化。当电压增益下降至 A_{um} 的 $\frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0.707$,即下降 3 dB 时,对应的频率分别称为上限截止频率 f_H 和下限截止频率 f_L , f_H 和 f_L 之间的频率范围称为通频带,又称 3 dB 带宽,用 BW 表示,则

$$BW = f_H - f_L \quad (2.1.7)$$

一般有 $f_H \gg f_L$,所以, $BW \approx f_H$ 。可见通频带可用于衡量放大电路对不同频率信号的放大能力,通频带越宽,表明放大电路对不同频率信号的适应能力越强。

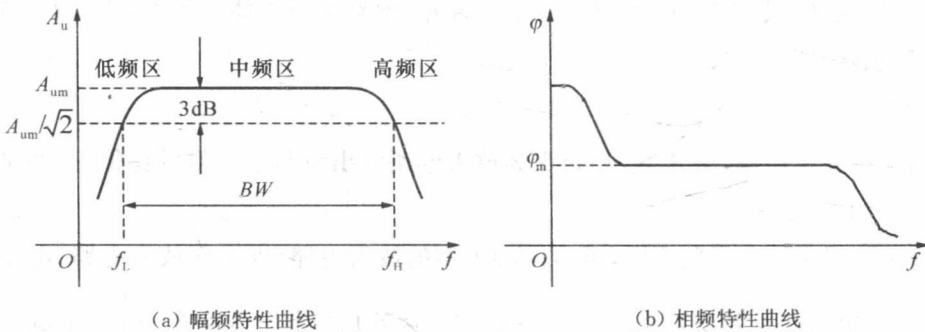


图 2.1.4 典型的幅频特性与相频特性曲线

4) 最大输出幅度

由于 BJT 的非线性和直流电源电压的限制,输出信号的非线性失真系数会随输入信号幅度的增大而增加。最大输出幅度是指非线性失真系数不超过额定值时的输出信号最大

值,用 U_{omax} 或 I_{omax} 表示,也可用峰-峰值 $U_{\text{op-p}}$ 或 $I_{\text{op-p}}$ 表示。

2.2 集成运算放大器概述

集成运算放大器(Integrated Operational Amplifier)简称集成运放,是由多级直接耦合放大电路组成的高增益模拟集成电路,是一个高性能的放大电路,因首先用于信号的运算而得名。

由于它具有体积小、重量轻、价格低、使用可靠、灵活方便、通用性强等优点,在检测、自动控制、信号产生与信号处理等许多方面得到了广泛应用。

1) 模拟集成电路运算放大器的结构特点

- (1) 用有源器件代替无源器件。
- (2) 采用复合结构的电路。
- (3) 级间采用直接耦合方式。
- (4) 外接少量分立元件。

2) 运算放大器的组成

在模拟集成电路中,模拟集成电路运算放大器发展最早、应用最广泛,通常将模拟集成运算放大器简称为集成运放或运放。

集成运放的内部电路可以看作一个直接耦合的多级放大电路,从电路结构上可分为四个部分:输入级、中间级、输出级和偏置电路,如图 2.2.1 所示。



图 2.2.1 集成运放组成结构框图

(1) 输入级

输入级又称前置级,其性能直接影响集成运放的大多数性能参数。输入级一般要求输入电阻高,静态电流小,差模放大倍数大,抑制共模能力强。输入级一般采用差分式放大电路。

(2) 中间级

中间级是整个放大电路的主放大级,要求有较高的电压放大倍数,一般采用共射或共源放大电路。为了进一步提高放大倍数,常采用复合管为放大管,恒流源电路为有源负载。

(3) 输出级

输出级要求能为负载提供一定的输出功率,输出电阻小,带负载能力强,所以常采用各

种形式的互补推挽输出放大电路。为保证得到大电流和高电压输出,输出级电路中还使用复合三极管结构形式和耐高压的共基-共射电路等。输出级设有保护电路,以保护输出级不致损坏。有些集成运放中还设有过热保护等。

(4) 偏置电路

偏置电路的作用主要是为集成运放各级放大电路提供稳定、合适的静态电流,从而设置合适的静态工作点。在集成运放中,偏置电路通常由电流源电路构成。

2.2.1 器件的基本工作特性

理想运算放大器具有下列基本特性:

- 差分输入。输出是同相输入端与反相输入端之间输入信号之差的放大结果。
- 无限增益。增益是无限大的。
- 无限带宽。没有带宽限制。
- 无限转换速率。输出转换速率没有界限,换句话说,就是 dU_{out}/dt 的极限为无限大。
- 零输入电流。两个输入端的电流均为零。
- 零输出电阻。输出电阻为零。
- 零功率耗散。理想运算放大器不消耗任何功率。
- 无限电源抑制。输出与供电电源的电压变换无关。
- 无限共模信号抑制。输出与共模信号的大小无关。

2.2.2 集成运算放大器的符号及电压传输特性

图 2.2.2 是集成运放的电路符号。它具有同相输入、反相输入和单端输出。这里的“同相”是指运放的输出电压与该输入端的输入电压相位相同;“反相”是指运放的输出电压与该输入端的输入电压相位相反。另外还有电源供电,一般分为正电源端和负电源端,以及调零端等,若不作特殊说明,后文有些引端有时就不在图中标出了。但在实际连接电路时,运放的电源端必须接到其所需的供电电压上,以确保其内部电路的正常工作。

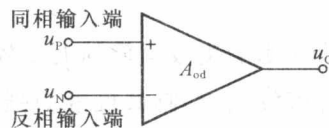


图 2.2.2 运放的电路符号

理想情况下,运算放大器的电压增益无穷大,输入阻抗无穷大,输出阻抗为零。理想运放代表了完美的电压放大器,通常作为电压控制电压源(VCVS)。

集成运放是一个比较理想的电压放大电路,它的输出电压与两个输入端的电压之差 ($u_{\text{id}} = u_{\text{P}} - u_{\text{N}}$) 即差模输入电压的关系可表示为:

$$u_{\text{O}} = A_{\text{ud}}(u_{\text{P}} - u_{\text{N}}) \quad (2.2.1)$$