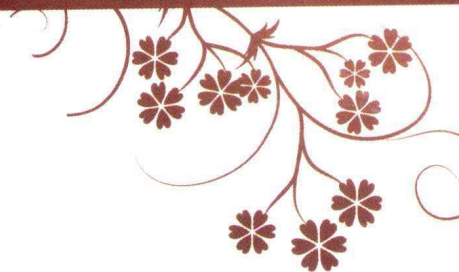


21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



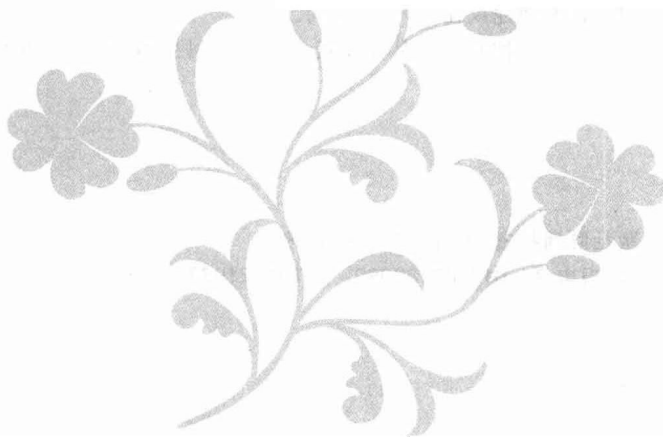
模拟电子技术教程

张剑平 主编



清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



模拟电子技术教程

张剑平 主编

清华大学出版社
北京

内 容 提 要

本书是遵照本科电子类专业模拟电子技术教学大纲编写的,但在内容编排上作了大胆的改革,全书以电路物理过程为主导,在详解必要基础知识的前提下自然地引出对应用电路的研究,并对已过时的传统应用电路作了适当的删除。我们的目的是让学习者有明确的目标、清晰的概念和一个轻松的学习过程。

全书共6章,分别为“模拟电路及放大器基础知识”、“常见电子元件”、“单管放大器”、“多级放大器和集成放大器”、“用反馈改变放大器的性能”及“常见的应用模拟电路”。书中以楷体字出现的章节是为拓宽知识面而设的自学内容。讲授课时数建议在64~72之间。

本书可作为电子类、电气类、自动控制类和其他相近专业的本科生教材,也可供有关工程技术人员自学或参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术教程/张剑平主编. —北京:清华大学出版社,2011.3

(21世纪高等学校规划教材·电子信息)

ISBN 978-7-302-24279-6

I. ①模… II. ①张… III. ①模拟电路—电子技术—高等学校—教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第251383号

责任编辑:闫红梅 薛 阳

责任校对:李建庄

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954,jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:16.25 字 数:404千字

版 次:2011年3月第1版 印 次:2011年3月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:26.00元

产品编号:038300-01

编审委员会成员

东南大学	王志功	教授
南京大学	王新龙	教授
南京航空航天大学	王成华	教授
解放军理工大学	邓元庆	教授
	刘景夏	副教授
上海大学	方勇	教授
上海交通大学	朱杰	教授
	何晨	教授
华中科技大学	严国萍	教授
	朱定华	教授
华中师范大学	吴彦文	教授
武汉理工大学	刘复华	教授
	李中年	教授
宁波大学	蒋刚毅	教授
天津大学	王成山	教授
	郭维廉	教授
中国科学技术大学	王煦法	教授
	郭从良	教授
	徐佩霞	教授
苏州大学	赵鹤鸣	教授
山东大学	刘志军	教授
山东科技大学	郑永果	教授
东北师范大学	朱守正	教授
沈阳工业学院	张秉权	教授
长春大学	张丽英	教授
吉林大学	林君	教授
湖南大学	何怡刚	教授
长沙理工大学	曾喆昭	教授
华南理工大学	冯久超	教授

西南交通大学

冯全源 教授

金炜东 教授

重庆工学院

余成波 教授

重庆通信学院

曾凡鑫 教授

重庆大学

曾孝平 教授

重庆邮电学院

谢显中 教授

张德民 教授

西安电子科技大学

彭启琮 教授

樊昌信 教授

西北工业大学

何明一 教授

集美大学

迟岩 教授

云南大学

刘惟一 教授

东华大学

方建安 教授

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和教学方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程(简称‘质量工程’)”,通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“质量工程”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

- (1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。
- (2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。
- (3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。
- (4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。
- (5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。
- (6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与计算机应用。
- (7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

清华大学出版社经过二十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail: weijj@tup. tsinghua. edu. cn

序 言

多年来,模拟电子技术(以下简称模电)一直被学生认为是最难学的课程之一,无论是课堂理论学习,还是实验室动手实验,绝大部分学生都感到吃力。如何把这门课程教好,也一直是教师们努力的目标之一。根据多年的教学和科研实践经验,在参考了众多典型的教材的基础上,我们编写了一套较为易学又不失深度的讲义。经几年的试用,感觉效果不错,在教学同仁对讲义的多次修改的基础上又编写了本教材。

模电是重要的专业基础课,也是很活跃的专业课,利用模电知识组成的电路种类繁多、数量无限,有的初学者可能对眼花缭乱的电路望而生畏,丧失信心。其实对模电有一定的了解后会发现,模电涉及的基础内容并不多,无非就是一些为数不多的元件知识和放大器知识。如果不是为了应付考试,而是为了真正掌握一点知识,静下心来仔细看看书,做做实验,一定能体会到模电不是很难学,且其实用范围宽、知识容易扩展。

本书正是按照这个规律编写的,本着“教会徒弟打猎比给其猎物更重要”的原则,我们把课程内容作了大幅度的调整。

全书只编排了6章,这主要是从大概念上让学习者明确模电应该包括几大部分,并且一开始不会从目录上产生太大的压力。

第1章讲模拟电路及放大器基础知识,篇幅很小,但它是全书的高度概括,是模电的精髓,也为后续学习提供理论基础,如有电工原理的简单知识,则对本章的理解是会很轻松的;第2章讲常见电子元件,对常见元件的原理、用途及数学模型都作了详细交代,在后面的学习中可直接拿来使用;第3章讲单管放大器,对每一种放大器的基本单元的设计理念都作了详细介绍;第4章讲多级放大器和集成放大器,对各种耦合的多级放大器都作了分析和评价,重点介绍了差分放大器和集成放大器;第5章讲用反馈改变放大器的性能,全方位介绍了反馈在模电中的应用和电路分析,并为传统的反馈通路求法找到了理论根据,另外,把频率特性及放大器的稳定性也放在本章更有助于读者的理解;第6章讲常见的应用模拟电路,应用模拟电路好比是一片茂盛的森林,本章选择性地介绍了几株典型的树种,旨在期望读者能有举一反三的效果。

本书由张剑平教授任主编并执笔第1章,杨辉老师执笔第2章,郭彩萍老师执笔第3章,杨翠娥老师执笔第4章,张俊生老师执笔第5章,楼国红老师执笔第6章中的6.1节和6.2节,卢佳老师执笔第6章中的6.3节和6.4节,刘继军老师执笔第6章中的6.5节和6.6节并负责全部配套课件的制作,索静老师负责所有的习题编写。

由于时间仓促再加水平有限,书中难免有错误和不妥之处,欢迎各位同仁及广大学习者不吝赐教。

编 者

2010年12月

本书常用符号说明

1. 符号形式

说 明	示 例
大写字母、大写下标：表示电源、直流量工作点、基准电压源、基准电流源等	U_{BE} ：输入为 0 时三极管 b 极和 e 极之间静态电压 I_E ：输入为 0 时为三极管 e 极静态电流
小写字母、小写下标：表示在通频带范围内的动态信号或交流信号	u_i, i_i ：输入电压、电流 u_o, i_o ：输出电压、电流 i_e ：三极管 e 极动态电流 u_{be} ：三极管 b 极和 e 极之间动态电压
小写字母、大写下标：表示含有直流偏置量的瞬时总值	u_{BE} ：输入不为 0 时三极管 b 极和 e 极之间瞬时电压 i_E ：输入不为 0 时三极管 e 极瞬时电流
大写字母、小写下标：表示正弦波交流分量的有效值或 S 域内的变量	U_i, U_o ：正弦波输入输出的电压有效值 $U_i(S), U_o(S)$ ：研究传递函数时的输入输出电压
大写字母上加黑点、小写下标：表示全频段的信号或复数变量	\dot{U}_i, \dot{I}_i ：全频段带有复数意义的输入电压、电流 \dot{U}_o, \dot{I}_o ：全频段带有复数意义的输出电压、电流 \dot{A}_u, \dot{F}_i ：全频段带有复数意义的开环增益、反馈系数

2. 常见符号举例

放大倍数或增益	电压、电流、功率及效率	电阻、电容及电感	频率和通频带	其 他
A ：放大倍数、增益通用符号	U, u ：电压通用符号 I, i ：电流通用符号	R ：静态电阻或电阻通用符号	f ：频率通用符号	F ：反馈系数 Q ：静态工作点
A_v ：电压放大倍数、增益	V_{CC}, V_{EE} ：三极管电路电源电压	r ：交流电阻或动态电阻	ω ：角频率通用符号	K_{CMR} ：共模抑制比
A_d ：差模电压放大倍数、增益	V_{DD}, V_{SS} ：场效应晶体管电路电源电压	G, g ：电导通用符号	f_H ：上限截止频率	φ ：相角 T ：三极管、场效应晶体管
A_c ：共模电压放大倍数、增益	u_{id} ：差模输入电压 u_{ic} ：共模输入电压	g_m ：跨导 R_i ：输入阻抗	f_L ：下限截止频率	D ：二极管、稳压管
A_{us} ：基于信号源电压放大倍数、增益	P_o ：输出功率 P_V ：直流电源供给功率	R_o ：输出阻抗 R_s ：信号源内阻	f_T ：特征频率 f_{BW} ：-3dB 通频带	
α ：共基极电流放大系数	P_T ：三极管集电极耗散功率	R_L ：负载电阻 R_f ：反馈电阻		
β ：共发射极电流放大系数	η ：转换效率	R_{id} ：差模输入电阻 C ：电容通用符号 L ：电感通用符号		

目 录

第 1 章 模拟电路及放大器基础知识	1
1.1 模拟电子技术的地位及特点	1
1.2 模拟电路及放大器	1
1.2.1 模拟电路的定义.....	1
1.2.2 放大器的定义.....	2
1.2.3 放大器的性能指标.....	2
习题.....	6
第 2 章 常见电子元件	8
2.1 电阻、电容和电感的回顾.....	8
2.1.1 电阻器.....	8
2.1.2 电容器.....	8
2.1.3 电感器.....	9
2.2 半导体基础知识.....	10
2.2.1 本征半导体	10
2.2.2 杂质半导体	11
2.2.3 PN 结的形成及特性	13
2.3 二极管.....	17
2.3.1 二极管的结构和类型	17
2.3.2 二极管的伏安特性	18
2.3.3 二极管的主要参数	18
2.3.4 二极管电路的分析方法	19
2.3.5 半导体二极管的应用举例	21
2.3.6 稳压二极管	23
2.4 三极管.....	24
2.4.1 三极管的结构及工作原理	24
2.4.2 三极管的特性曲线	27
2.4.3 三极管的主要参数	29
2.4.4 三极管的直流模型和中低频小信号等效模型	30
2.5 场效应管.....	34
2.5.1 结型场效应管的结构及工作原理	34
2.5.2 结型场效应管的特性曲线	36

2.5.3	增强型 MOS 管	37
2.5.4	耗尽型 MOS 管	41
2.5.5	场效应管的中低频小信号等效模型	43
2.5.6	场效应管的主要参数及其他	44
2.6	其他半导体元件简介	46
2.6.1	变容二极管	46
2.6.2	肖特基二极管	46
2.6.3	发光二极管	47
2.6.4	光敏二极管	47
2.6.5	光敏三极管	48
2.6.6	VMOS 管	48
2.6.7	晶闸管	48
	习题	51
第 3 章	单管放大器	57
3.1	单管共射放大器	57
3.1.1	一个典型的共射放大器	57
3.1.2	放大器的组成原则	58
3.2	放大器的分析	58
3.2.1	直流通路和交流通路	58
3.2.2	等效电路法	59
3.2.3	图解分析法	61
3.3	稳定静态工作点电路	65
3.3.1	静态工作点稳定的必要性	65
3.3.2	带 R_c 的共射放大器	66
3.4	三极管其他组态的单管放大器	68
3.4.1	单管共集电极放大器	68
3.4.2	单管共基极放大器	70
3.4.3	三种单管放大器性能比较	71
3.5	场效应管单管放大器	73
3.5.1	共源极放大器	73
3.5.2	共漏极放大器	76
	习题	79
第 4 章	多级放大器和集成放大器	85
4.1	多级放大器的耦合方式	85
4.1.1	阻容耦合	85
4.1.2	直接耦合	85
4.1.3	变压器耦合	86

4.1.4	光电耦合	87
4.2	多级放大器的分析方法	88
4.2.1	多级放大电路的静态分析	88
4.2.2	多级放大电路的动态分析	89
4.3	差分放大器	91
4.3.1	直接耦合放大电路的零点漂移现象	91
4.3.2	基本差分放大器	92
4.3.3	长尾式差分放大器	94
4.3.4	差分放大器的其他接法	97
4.3.5	差分放大器的进一步改进	100
4.4	集成运算放大器	103
4.4.1	集成运算放大电路概述	103
4.4.2	电流源电路	107
4.4.3	集成运放电路介绍	110
4.4.4	集成运放的外部特性描述	112
4.4.5	集成运放的种类及选择	115
4.4.6	集成运放的使用注意事项	116
	习题	118
第5章	用反馈改变放大器的性能	124
5.1	反馈的基本概念及多方位理解	124
5.1.1	反馈的定义	124
5.1.2	识别反馈的有无	125
5.1.3	直流反馈与交流反馈	125
5.1.4	局部反馈与整体反馈	125
5.1.5	电压反馈与电流反馈	126
5.1.6	串联反馈与并联反馈	126
5.1.7	正反馈与负反馈	127
5.2	负反馈的4种组态	128
5.2.1	电压串联负反馈	128
5.2.2	电压并联负反馈	129
5.2.3	电流串联负反馈	129
5.2.4	电流并联负反馈	130
5.3	负反馈放大器的框图及一般表达式	131
5.3.1	负反馈放大器的框图表示法	131
5.3.2	4种组态的负反馈放大器的框图	132
5.3.3	负反馈对放大器的影响	133
5.3.4	负反馈放大器框图分析法	137
5.3.5	深度负反馈放大器分析举例	140

5.4	放大器负反馈引入原则及正反馈	142
5.4.1	负反馈的引入原则	142
5.4.2	关于正反馈	143
5.5	放大器频率特性、稳定性及其改善	143
5.5.1	频率特性及伯德图	144
5.5.2	三极管的高频等效电路	146
5.5.3	场效应管的高频等效电路	149
5.5.4	单管放大器的频率特性	150
5.5.5	多级放大器的频率特性	153
5.5.6	负反馈放大器的稳定性	154
	习题	157
第6章	常见的应用模拟电路	163
6.1	信号的调理电路	163
6.1.1	电子信息系统的组成	163
6.1.2	基本运算电路	163
6.1.3	有源滤波器	174
6.1.4	电子信息系统常用预处理电路	180
6.2	信号发生电路	181
6.2.1	正弦波振荡电路的基础知识	181
6.2.2	RC 正弦波振荡电路	182
6.2.3	LC 正弦波振荡电路	185
6.2.4	石英晶体正弦波振荡电路	188
6.2.5	非正弦信号发生电路	190
6.3	功率放大电路	196
6.3.1	功率放大电路概述	196
6.3.2	功率放大电路的组成	197
6.3.3	功放电路几点说明	199
6.4	直流电源	203
6.4.1	直流电源概述	203
6.4.2	线性电源的组成及各部分的作用	203
6.4.3	整流电路	203
6.4.4	滤波电路	206
6.4.5	稳压电路	209
6.4.6	保护电路	211
6.4.7	线性集成稳压器	212
6.4.8	开关型稳压电路	213
6.5	模拟电路仿真软件介绍	216
6.5.1	Multisim 10 简介	216

6.5.2 Multisim 10 基本操作界面	216
6.5.3 Multisim 10 的分析工具	217
6.5.4 Multisim 10 软件的基本操作	219
6.6 模拟可编程器件介绍	221
6.6.1 模拟可编程器件概述	221
6.6.2 ispPAC10 器件简介	222
6.6.3 ispPAC20 器件简介	223
习题	227
关键词索引	236
参考文献	244

第

1章

模拟电路及放大器基础知识

1.1 模拟电子技术的地位及特点

随着电子学科在各个学科中不断渗透,很多领域技术的发展都要借助于电子学科,特别是在数字化的当代更体现了这一点。由于模拟电子技术是电子技术的基础课程,因此,模拟电子技术(以下简称模电)如今已成为现代众多学科的基础课。对电子类专业的学生来说,模电是启蒙课程,也是标志性课程,只有学完模电后,才能开展诸如“数字电子技术”、“通信技术”、“计算机原理”、“嵌入式系统原理”以及“测控技术”等课程。

此外,模电不但是非常重要的基础课,而且还是很重要的专业课。这是因为各种控制部件、各种电子芯片在使用时都是基于模电知识的,这些部件和芯片的外围连接往往要用模拟分立元件做补充,这时更需要工程师具有成熟的模拟电子经验。可以这么说,一个具有熟练模电技术的人即使其他技术差点,也会找到用武之地。

模电是有魅力的,但模电被多数人认为是难学的,这是模电应用性较强的缘故。当我们习惯于高等数学、电工原理等课程的严密的逻辑推导后,对于模电中动辄“舍去一方”、“约等于”的做法因缺乏工程应用经历而不适应。但随着理论学习和实践的不断深入会逐渐领会模电的真谛。我们建议在模电的学习中把握以下原则:

- (1) 重视器件的物理工作过程,不理解物理原理而一味地进行数学推导是不恰当的。
- (2) 对于概念和方法要仔细理解,琢磨其原理,不可盲目死记。
- (3) 要特别重视实践环节,规定的每个实验要尽可能完成,只有实验才能帮助理解电路原理,培养动手能力,增进成就感,促进学习。

1.2 模拟电路及放大器

1.2.1 模拟电路的定义

一个电路可能有多个输入端和多个输出端,但研究其中一个输入和一个输出的关系不失其普遍性。如图 1-1 所示,设模拟电路是一个 2 端口网络,有一个输入端口和一个输出端口,输入信号为 x_i ,输出信号为 x_o 。当 x_i 有一个微小的变化时, x_o 必有一个相应的变化,这样的电路称为模拟电路。换句话说, x_o 和 x_i 是连续函数关系。研究模拟电路的技术就称为模拟电子技术。

为了增加对模拟电路的理解,这里顺便给出**数字电路**的定义。数字电路的输出只有高电平或低电平两个值,当输入值有个微小变化时,输出端一般不会变化,只有输入值的变化累计达到一定值时输出才改变状态。在实际工作时,数字电路的输入输出信号都是二值信号。数字电路又称**脉冲电路**,属于**非线性电路**的范畴。

图 1-2 所示的是大家熟知的电阻式分压电路,该电路就是一种模拟电路,其作用是得到一个比 u_i 小的电压 u_o ,这种电路在中学的课程上就研究过。在模电中要研究的模拟电路将具有更多的功能,必然要引入新的元器件。

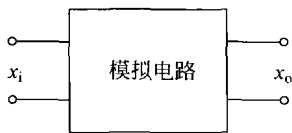


图 1-1 模拟电路示意图

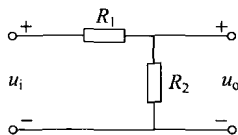


图 1-2 电阻分压电路

1.2.2 放大器的定义

在图 1-1 中如果 x_i 和 x_o 的变化遵循线性关系,则称这种电路为**线性电路**,当这种线性电路需要通过加电源后才能实现时,就称之为**放大电路**或**放大器**,所以放大器是线性电路的一种。从本质上讲,放大器是将一种形式的信号转换为另一种形式的信号。图 1-3 为放大器的示意图。

1.2.3 放大器的性能指标

在输入信号的一定的频率范围内,一个放大器是有基本不变的性能指标。一个正在工作的放大器如图 1-4 所示,放大器的前一级电路可认为是信号源,后一级的电路可认为是负载。信号源 x_i 可以是电压或电流形式,放大器的输出 x_o 也可以是电压或电流形式,负载可以是阻性的、感性的、容性的或复性的,一般以一个阻性负载为例来研究。以下是放大器的一些指标。

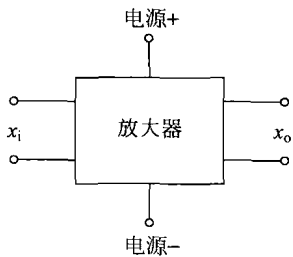


图 1-3 放大器示意图

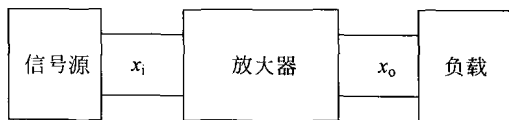


图 1-4 放大器在电路中的位置

1. 放大器的放大倍数

放大倍数定义为输出输入之比,放大倍数又称**增益**,用 A 表示。本质上,放大器只是一种信号转化为另一种信号,增益 A 不一定就是大于 1 的, A 可以小于或等于 1。

当输入 x_i 为电压 u_i ,输出 x_o 为电压 u_o 时,增益为 $A_u = u_o/u_i$,称为**电压增益**,无量纲。

当输入 x_i 为电压 u_i , 输出 x_o 为电流 i_o 时, 增益为 $A_g = i_o/u_i$, 称为互导增益, 量纲为 S(西门子)。

当输入 x_i 为电流 i_i , 输出 x_o 为电压 u_o 时, 增益为 $A_r = u_o/i_i$, 称为互阻增益, 量纲为 Ω (欧姆)。

当输入 x_i 为电流 i_i , 输出 x_o 为电流 i_o 时, 增益为 $A_i = i_o/i_i$, 称为电流增益, 无量纲。

由此可见, 放大器根据输入输出的信号类型不同有 4 种类型, 即电压型、互导型、互阻型和电流型。在以后的讲解中, 会发现每种放大器的设计方法各不相同, 最常见的是电压型。

2. 放大器的输入阻抗

1) 输入阻抗的定义

从图 1-5 所示可以看出, 放大器的输入端等效为一个信号源的负载, 当加一个信号 s_i 时, 放大器从信号索取电流 i_i , 并且在其输入端口产生一个电压 u_i , 定义输入阻抗 R_i 为 u_i 与 i_i 之比, 即 $R_i = u_i/i_i$ 。这个定义适合于理论上求输入阻抗, 也适合于实验室求输入阻抗, 方法是在一个放大器输入端加一电压源, 求出电压源的输出电压 u_i 和输出电流 i_i , 由此而求得 R_i 。下面讨论一下输入阻抗对放大器的影响。

2) 电压输入型放大器应有高输入阻抗

当输入信号源为电压型时, 要求放大器也为电压输入型。对非理想的电压源来讲, 由戴维南定理可等效为理想电压源 u_s 与内阻 R_s 之串联, 电压源加入放大器的等效电路如图 1-6 所示, 此时, 在放大器输入端得到的有效电压 u_i 为

$$u_i = \frac{u_s R_i}{R_s + R_i} \quad (1-1)$$

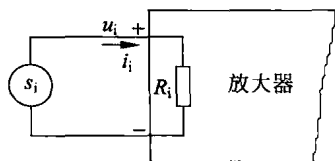


图 1-5 放大器输入阻抗的理解示意图

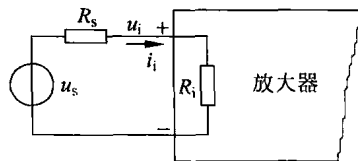


图 1-6 放大器输入阻抗对电压信号源的影响

$R_i \uparrow \rightarrow u_i \uparrow$, 由此可以得出结论: 对于电压源信号来说, 放大器的输入阻抗越大越好, 换言之, 电压输入型放大器应有较高的输入阻抗。理想的电压型输入放大器 $R_i \rightarrow \infty$ 。

3) 电流输入型放大器应有低输入阻抗

当输入信号源为电流型时, 要求放大器也为电流输入型。对非理想的电流源来讲, 由诺顿定理可等效为理想电流源 i_s 与内阻 R_s 之并联, 电流源加入放大器的等效电路如图 1-7 所示, 此时, 在放大器输入端得到的有效电流 i_i 为

$$i_i = \frac{i_s R_s}{R_s + R_i} \quad (1-2)$$

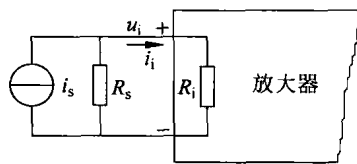


图 1-7 放大器输入阻抗对电流源信号源的影响

$R_i \downarrow \rightarrow i_i \uparrow$, 由此得出结论: 对于电流源信号来说, 放大器的输入阻抗越小越好, 换言之, 电流输入型放大器应有较低的输入阻抗。理想的电流型输入放大器 $R_i = 0$ 。